

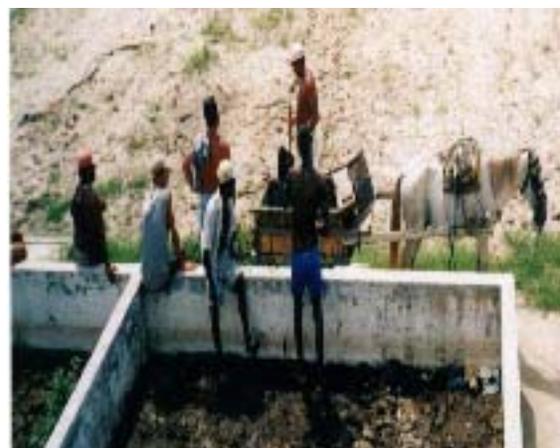


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE
LIDOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**



Ana Maria Ribeiro Bastos da Silva

Recife - PE
2001

Ana Maria Ribeiro Bastos da Silva

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE
LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Mario Takayuki Kato

Co-orientador: Prof. Edmilson Santos de Lima

Universidade Federal de Pernambuco

Recife,
Departamento de Engenharia Civil da UFPE
2001

FICHA CATALOGRÁFICA

Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFPE

SILVA, Ana Maria Ribeiro Bastos da

Caracterização e avaliação do potencial de uso de lodos de estações de tratamento de esgoto doméstico da Região Metropolitana do Recife / Ana Maria Ribeiro Bastos da Silva. – Recife : O Autor, 2001

xviii, 249 folhas : il., fig., tab.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2001

Inclui bibliografia e apêndice.

1. Esgoto doméstico – tratamento – Lodos. 2. Lodos – Caracterização físico-química – Potencial de uso. 3. Biossólidos (metais pesados e nutrientes) - Utilização. I. Título.

628.336.31

CDU (2.ed.)

UFPE

628.38

CDD (21.ed.)

BC2002-083

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE
USO DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DOMÉSTICO DA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE**

por

Ana Maria Ribeiro Bastos da Silva

Dissertação defendida e aprovada em 15 (quinze) de dezembro de 2001
pela banca examinadora constituída pelos professores doutores abaixo
assinados:

.....
Mario Takayuki Kato (Ph.D.)
Orientador

.....
Edmilson Santos de Lima (Ph.D.)
Co-orientador

.....
Fernando Fernandes (Ph.D.)
Examinador

.....
Valdinete Lins da Silva (Dsc)
Examinadora

.....
Maria de Lourdes Florencio dos Santos (Ph.D.)
Examinadora

Recife, dezembro de 2001

“... Um cara que anda tem que chegar em algum lugar (...)

Um cara estuda tanto e ainda tem tanto pra aprender ...”

Fim do Dia 4 O Essencial, de Arnaldo Antunes.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Izaias Bastos da Silva e Adeilda Ribeiro da Silva, pela eterna inspiração, desprendimento, cooperação e incentivo na concretização da minha formação pessoal e profissional.

A Laércio Queiroz de Souza e as minhas irmãs, Maria Luiza Ribeiro B. da Silva, Cybele Ribeiro B. da Silva e Taciana Ribeiro B. da Silva, pela amizade, carinho, apoio e estímulo em todos os momentos.

A Louise Bastos da Silva e Luana Bastos da Silva pelo carinho especial e os bons momentos.

Aos Prof^{os}. Mario Takayuki Kato e Edmilson Santos de Lima, pelo apoio, dedicação, contribuição profissional e excelentes orientações durante a realização desta dissertação.

À Coordenação do Mestrado em Engenharia Civil pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

A todos os professores que fazem o Curso de Mestrado em Engenharia Civil da UFPE pela dedicação e contribuição profissional, em especial aos professores: José Mariano de Sá Aragão, Lourdinha Florencio e Maria do Carmo M. Sobral, pelo incentivo e apoio no decorrer do curso.

Aos dedicados funcionários deste departamento: Ronaldo de Melo Fonseca, técnico do Laboratório de Saneamento Ambiental, e Laudence Bezerra, secretária do curso de pós-graduação em Engenharia Civil da UFPE, que sempre tiveram palavras de incentivo e amizade em todos os momentos do curso.

A todos os amigos e colegas do Laboratório de Saneamento Ambiental, em especial a Juilma Anailda da Silva, Gilvanildo João de Oliveira, George Marcio Queiroga e Juliana Cardoso de Moraes, pela colaboração na concretização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de ICP e LAMSA, em especial a Paulo Roberto B. Leite e a Lílian Maria C. de Araujo pela colaboração na realização das análises de metais desta pesquisa.

A Edmilson M. Silva, prestador de serviço na ETE Mangueira, pela atenção e assistência prestada na realização das amostragens.

À COMPESA, pela permissão para a obtenção das amostras utilizadas nesta pesquisa e em especial aos funcionários: Nicácio José Martins de Arruda, Gilmar Francisco do Carmo e Rosângela Gomes Tavares pela obtenção das amostras das ETAs utilizadas neste trabalho.

À minha turma inesquecível: Keyla Pereira dos Santos, Fábio José Palhares da Costa Soares, Francisco de Assis Araujo, Kildere Carvalho de Queiroz, Roberta Guedes Alcoforado e Daniela Kyrillos, pelo companheirismo e alegria durante toda nossa convivência.

Aos amigos e colegas do Mestrado, em especial a Ricardo de Melo Arantes, Maria Aparecida Guilherme da Rocha e Ismeraldo Pereira de Oliveira, por terem compartilhado dúvidas, soluções e alegrias.

A Maria Alice Andrade Lima, Chefe do Departamento de Engenharia Química, e a Valdinete Lins da Silva, Chefe do Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade, principalmente por concederem a permuta de horário e o afastamento de um mês das minhas atividades funcionais.

A todos os amigos e colegas do Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade, pela amizade e ajuda em todos os momentos.

Aos professores Benício de Barros Neto e Maria Fernanda Pimentel pelos conhecimentos científicos que me foram transmitidos sobre Quimiometria, e aos amigos José Edson da Silva e Paula Tereza de Souza e Silva pelas sugestões e ajuda nas dúvidas em análise multivariada.

A Deus por me conceder força de vontade, inteligência e saúde necessária para a conclusão deste trabalho.

ÍNDICE

	PAG.
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1.0. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. A PROBLEMÁTICA DO LODO.....	2
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. Objetivos Gerais	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	4
2.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	6
2.1. DEFINIÇÕES.....	6
2.2. PRODUTOS GERADOS NAS ETES.....	7
2.2.1. Tratamento Preliminar.....	8
2.2.2. Tratamento Primário.....	9
2.2.3. Tratamento Secundário.....	10
2.2.4. Tratamento Terciário.....	12
2.3. QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDO	13
2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS TÍPICAS DO LODO	17
2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS LODOS DE ETES	18
2.5.1. Características Gerais.....	18
2.5.2. Constituintes Específicos e Possíveis Contaminantes Encontrados nos Lodos e seus Riscos.....	23
2.6. ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ETES.....	43
2.6.1. Calagem.....	48
2.6.2. Compostagem.....	50
2.6.3. Vermicompostagem.....	53
2.6.4. Fazenda de Lodo.....	55
2.6.5. Incineração.....	56
2.6.6. Recuperação de Áreas Degradadas.....	57
2.6.7. Uso na Agricultura e em Florestas.....	57
2.6.8. Disposição em Aterros Sanitários.....	60
2.7. CLASSIFICAÇÃO DO BIOSSÓLIDO	62

3.0.	DETERMINAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ÁGUAS E DOS LODOS DE ETAs E ETEs	66
3.1.	INTRODUÇÃO.....	66
3.2.	METODOLOGIA.....	71
	3.2.1. Sistemas de Tratamento.....	72
	3.2.2. Amostragem e Análises.....	74
	3.2.3. Dados Hidrológicos.....	80
	3.2.4. Análise dos Componentes Principais.....	81
3.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	83
	3.3.1. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização da Fase Líquida das ETAs.....	83
	3.3.2. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização da Fase Sólida das ETAs.....	90
	3.3.3. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização da Fase Líquida das ETes.....	101
	3.3.4. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização na Fase Sólida das ETes.....	112
3.4.	CONCLUSÕES.....	123
4.0.	DETERMINAÇÕES DE pH, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, TEMPERATURA, SÓLIDOS E METAIS NOS LODOS DE REATOR UASB	128
4.1.	INTRODUÇÃO.....	128
4.2.	METODOLOGIA.....	133
4.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	134
4.4.	CONCLUSÕES.....	146
5.0.	DETERMINAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DOS LODOS DE REATOR UASB EM LEITO DE SECAGEM.....	148
5.1.	INTRODUÇÃO.....	148
	5.1.1. Processos de Desidratação do Lodo	152
	5.1.2. Leitos de Secagem	153
5.2.	METODOLOGIA.....	159
	5.2.1. Leitos de Secagem	159
	5.2.2. Amostragem e Análises	161
	5.2.3. Dados Hidrológicos	162
5.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	163
5.4.	CONCLUSÕES.....	173

6.0.	DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA DO LODO DE REATOR UASB.....	174
6.1.	INTRODUÇÃO.....	174
6.2.	METODOLOGIA.....	177
	6.2.1. Biomassa	177
	6.2.2. Reagentes	178
	6.2.3. Materiais e Equipamentos	178
	6.2.4. Teste de Atividade Metanogênica	180
6.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	180
6.4.	CONCLUSÕES.....	184
7.0.	CONCLUSÕES GERAIS	185
8.0.	SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS	188
9.0.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190
10.0.	ANEXOS	207
10.1.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS (ST), FIXOS (STF) E VOLÁTEIS (STV) EM AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO (<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 19ª edição)	207
10.2.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT) E SUSPENSOS TOTAIS (SST), FIXOS (SDF e SSF) E VOLÁTEIS (SDV e SSV) (UFPB, Campina Grande, com uso de centrífuga)	209
10.3.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS (ST), FIXOS (STF) E VOLÁTEIS (STV) EM AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO (<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 19ª edição)	210
10.4.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST), FIXOS (SSF) E VOLÁTEIS (SSV) (com uso de centrífuga)	212
10.5.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE METAIS EM AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO (adaptado do <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 19ª edição)	212
10.6.	DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA DO LODO (testes estáticos)	214
11.0.	APÊNDICE.....	217
12.0.	TRABALHOS GERADOS PELA DISSERTAÇÃO.....	247
13.0.	CURRICULUM VITAE	249

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Composição do esgoto doméstico.....	7
Figura 2.2 –	Resíduo removido da grade da ETE Vila São João (A) e areia removida na limpeza da caixa de areia da ETE Mangueira (B).....	9
Figura 2.3 –	Remoção da camada de espuma de uma das células do reator UASB (A) e lodo do reator UASB desidratado em leito de secagem na ETE Mangueira (B).....	11
Figura 2.4 –	Disposição dos resíduos sólidos no terreno da estação (A) e remoção do lodo desidratado em leito de secagem por moradores próximos da ETE Mangueira (B).....	12
Figura 2.5 –	Lodo na parte superior da lagoa de polimento da ETE Mangueira.....	13
Figura 2.6 –	Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios.....	13
Figura 2.7 –	Aspecto do lodo da ETE aeróbia (A) e do reator UASB da ETE Mangueira (B). Lodo A e B lado a lado (C).....	18
Figura 2.8 –	Caixa de passagem do efluente do reator UASB para a lagoa de polimento da ETE Mangueira (A) e tubulação de saída do efluente da ETE Vila São João no rio Capibaribe (B).....	42
Figura 3.1 –	Despejo dos resíduos gerados na ETA Gurjaú no meio ambiente.....	67
Figura 3.2 –	Aspecto do lodo do decantador da ETA Presidente Castello Branco (à esquerda) e ETA Gurjaú (à direita) (sulfato de alumínio como coagulante).....	69
Figura 3.3 –	Vista frontal da ETA Presidente Castello Branco (A), decantador (B) e filtros (C) da 1ª fase.....	75
Figura 3.4 –	Entrada da água bruta (A), floculadores e decantadores (B) e filtro (C) da ETA Gurjaú.....	76
Figura 3.5 –	Vista superior do reator UASB e da lagoa de polimento da ETE mangueira ETE (A), tubulação de tomada do lodo de excesso do reator UASB (B) e do local de amostragem na lagoa de polimento (C).....	76
Figura 3.6 –	Vista frontal da ETA Presidente Castello Branco (A), decantador (B) e filtros (C) da 1ª fase.....	77
Figura 3.7 –	Vista superior da ETE aeróbia (A) e da canaleta de tomada do lodo de excesso de retorno do decantador secundário (B).....	77
Figura 3.8 –	Lodo bruto do decantador da ETA Gurjaú, na forma semi-sólida (A), seco a 105\text{°}C (B) e incinerado a 550\text{°}C (C).....	78
Figura 3.9 –	Lodo aeróbio bruto do decantador secundário da ETE Cabo, na forma fluida (A), seco a 105 \text{°}C (B) e incinerado a 550 \text{°}C (C).....	79
Figura 3.10 –	Lodo anaeróbio bruto do reator UASB da ETE Mangueira, na forma fluida (A), seco a 105 \text{°}C (B) e incinerado a 550 \text{°}C (C).....	79
Figura 3.11 –	Equipamento ICP-AES.....	80
Figura 3.12 –	Gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes principais da Análise de Componentes Principais para a caracterização da fase líquida de ETAs, segundo parâmetros físico-químicos e dos teores de metais.....	87

Figura 3.13 – Gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes principais da Análise de Componentes Principais para a caracterização da fase sólida de ETAs, segundo parâmetros físico-químicos e dos teores de metais.....	95
Figura 3.14 – Gráfico dos escores dos objetos da primeira e terceira CPs da ACP para a caracterização da fase sólida de ETAs, segundo parâmetros físico-químicos e dos teores de metais.....	99
Figura 3.15 – Gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes principais da Análise de Componentes Principais para a caracterização da fase líquida de ETEs, segundo parâmetros físico-químicos e dos teores de metais.....	106
Figura 3.16 – Gráfico dos escores para CP1 e CP3 com 15% da informação original na terceira componente.....	110
Figura 3.17 – Gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes principais da Análise de Componentes Principais para a caracterização de lodo de ETEs, segundo parâmetros físico-químicos	117
Figura 3.18 – Gráfico dos escores da primeira e terceira CPs da ACP para a caracterização de lodo de ETEs, segundo parâmetros físico-químicos	121
Figura 4.1 – Representação esquemática de um compartimento de digestão do reator UASB com cinco pontos de amostragem.....	131
Figura 4.2 – Desenho esquemático de um reator UASB.....	132
Figura 4.3 – Pontos de amostragens do lodo de excesso a 2,5; 2,0; 1,5; 1,0 e 0,5 m de altura da parte inferior do reator UASB.....	134
Figura 4.4 – Perfil de sólidos totais e umidade do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.....	135
Figura 4.5 – Perfil de sólidos totais fixos e voláteis do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.....	135
Figura 4.6 – Valores de alumínio, cálcio e ferro do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.....	136
Figura 4.7 – Valores de cromo, níquel, cobre, silício, manganês, zinco, sódio, potássio e magnésio do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.....	138
Figura 4.8 – Perfil de sólidos totais (C) e sólidos totais voláteis () do lodo das células 1 a 8 da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000.....	140
Figura 4.9 – Perfil de sólidos suspensos totais do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000.....	141
Figura 4.10 – Relação entre os sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos totais do reator UASB da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000.....	142
Figura 4.11 – Valores de temperatura do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000.....	143
Figura 4.12 – Valores de pH do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000.....	144
Figura 4.13 – Valores de condutividade elétrica do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000.....	145
Figura 5.1 – Distribuição da água no floco de lodo.....	149
Figura 5.2 – Relação entre o volume de lodo e a fração de sólidos ou umidade.....	150
Figura 5.3 – Variação do volume de lodo em função do seu teor de água.....	150

Figura 5.4 –	Crescimento de vegetação nos leitos de secagem da ETE Mangueira.	154
Figura 5.5 –	Vista das fissuras na camada superficial da massa de lodo seco no leito de secagem da ETE Mangueira (A) e perfil do lodo seco no leito de secagem da ETE Mangueira (B).....	158
Figura 5.6 –	Vista das tubulações de descarte de lodo de excesso do reator UASB nos leitos de secagem da ETE Mangueira (A), vista da altura de lodo descartado no leito de secagem (B) e vista superior dos leitos de secagem de N ^o 1, 3, 5 e 7 após a descarga (C).....	160
Figura 5.7 –	Remoção do lodo dos leitos de secagem por moradores próximos da estação.....	160
Figura 5.8 –	Vista superior do leito de secagem n ^o 8 da ETE Mangueira após a descarga (A), vista superior dos leitos de secagem após dois dias de desidratação (B) e vista superior dos leitos de secagem após sete dias de desidratação (C).....	161
Figura 5.9 –	Caixa de passagem do líquido percolado do leito de secagem.....	161
Figura 5.10 –	Variação do teor de sólidos totais a 105 °C nos oito leitos de secagem da ETE Mangueira no período de 07/08/2000 a 01/09/2000.	165
Figura 5.11 –	Variação dos teores de: umidade a 65 °C (A) e umidade a 105 °C (B) nos oito leitos de secagem da ETE Mangueira no período de 07/08/00 a 01/09/00.....	166
Figura 5.12 –	Variação semanal nos leitos de secagem para os lodos das células 1 a 8 da ETE Mangueira no período de 07/08/2000 a 01/09/2000 dos valores do teor de: umidade a 65 ^o C (A), umidade a 105 ^o C (B), sólidos totais a 105 °C (C), sólidos totais voláteis a 550 °C (D) e sólidos totais fixos a 550 °C (E).....	167
Figura 5.13 –	Variação diária no leito de secagem para o lodo da célula 8 da ETE Mangueira no período de 03 a 26/10/2000 dos valores do teor de: umidade a 65 e 105 ^o C e sólidos totais a 105 °C (A) e sólidos totais voláteis e fixos a 550 °C (B).....	168
Figura 6.1 –	Aspecto do lodo peneirado (à esquerda) e centrifugado (à direita) utilizado no teste de AME	178
Figura 6.2 –	Esquema do conjunto experimental do teste de AME.....	179
Figura 6.3 –	Produção de metano acumulada durante o teste de AME do lodo de esgoto doméstico (centrifugado) com 1g DQO/L.....	180
Figura 6.4 –	Influência da concentração dos sólidos suspensos voláteis e da concentração de acetato de sódio sobre a AME do lodo de esgoto doméstico.....	181
Figura 6.5 –	Influência da concentração do acetato de sódio e dos sólidos suspensos voláteis na AME de lodo centrifugado.....	181
Figura 6.6 –	Influência da aclimação sobre a AME do lodo de esgoto doméstico	182
Figura 6.7 –	Comparação entre a atividade do lodo de esgoto doméstico peneirado e centrifugado.....	183

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Produtos gerados no tratamento de esgotos domésticos.....	10
Tabela 2.2	– Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios.....	14
Tabela 2.3	– Quantidade e característica do lodo dos esgotos.....	15
Tabela 2.4	– Produção de lodo na Alemanha.....	16
Tabela 2.5	– Produção de lodo biológico anaeróbio em reatores tipo UASB.....	17
Tabela 2.6	– Composição química e propriedades típicas do lodo bruto e digerido.	20
Tabela 2.7	– Resultados da caracterização do lodo da ETE Vila Leopoldina, localizada na capital paulistana.....	21
Tabela 2.8	– Caracterização físico-química dos lodos de ETEs pesquisados na cidade de Curitiba, Estado do Paraná.....	22
Tabela 2.9	– Teores de sólidos totais e de sólidos voláteis em diferentes tipos de lagoas de estabilização operando no Espírito Santo.....	24
Tabela 2.10	– Composição média de nutrientes e matéria orgânica em diferentes tipos de lodo do Paraná e outros materiais orgânicos.....	25
Tabela 2.11	– Bactérias (NMP/100 mL) presentes nos lodos de estações de tratamento de esgoto doméstico.....	28
Tabela 2.12	– Caracterização microbiológica do lodo no Espírito Santo, em Brasília e requisitos de norma americana.....	28
Tabela 2.13	– Quantidade de lodo recomendada a ser usada no solo nos Estados Unidos.....	30
Tabela 2.14	– Tempo máximo de sobrevivência de agentes patogênicos do lodo no solo.....	30
Tabela 2.15	– Valores limites de metais (mg de metal pesado/kg matéria seca) no solo e no lodo dos esgotos para o uso agrícola, na Alemanha Federal.....	34
Tabela 2.16	– Concentração máxima permitida de metais (mg/kg) em solos cultivados tratados com lodo de esgoto.....	35
Tabela 2.17	– Concentração máxima de metais pesados (mg/kg matéria seca) admissíveis no solo e no lodo para a reciclagem agrícola na Espanha.....	35
Tabela 2.18	– Concentração de metais pesados em biossólidos utilizados na agricultura nos EUA e na Europa.....	36
Tabela 2.19	– Concentração de metais pesados em biossólidos (p/ reciclagem agrícola) e lixiviados dos resíduos sólidos de classe II (p/ aterro sanitário) utilizados no Brasil.....	37
Tabela 2.20	– Média dos teores de metais pesados (mg/kg em relação ao peso seco) em lodo da ETE Belém e em RALF no Paraná.....	37
Tabela 2.21	– Concentração média de metais pesados (mg/kg) em lodo de esgoto em diversos países.....	38
Tabela 2.22	– Teores de metais pesados (mg/kg) de alguns resíduos orgânicos coletados no Estado do Paraná.....	38
Tabela 2.23	– Teores de metais pesados (mg/kg) em algumas fontes potenciais de contaminação do solo.....	39
Tabela 2.24	– Concentração dos valores limites de metais pesados em solo.....	40

Tabela 2.25	–	Concentrações de metais pesados (mg/kg) nas lagoas do estado do Espírito Santo comparados com outros sistemas.....	41
Tabela 2.26	–	Processamento do lodo nos principais sistemas de tratamento de esgotos.....	46
Tabela 2.27	–	Processos de higienização do lodo.....	64
Tabela 2.28	–	Limites estabelecidos para patógenos pela legislação do Paraná e dos E.U.A.....	65
Tabela 3.1	–	Características físicas da fase líquida das ETAs da RMR.....	83
Tabela 3.2	–	Características dos teores de metais da fase líquida das ETAs da RMR.....	84
Tabela 3.3	–	Características físicas da fase sólida das ETAs da RMR.....	91
Tabela 3.4	–	Características do teor de metais da fase sólida das ETAs da RMR.....	92
Tabela 3.5	–	Características do teor de metais pesados da fase sólida das ETAs da RMR.....	93
Tabela 3.6	–	Características físico-químicas da fase líquida das ETEs anaeróbias e aeróbia da RMR.....	102
Tabela 3.7	–	Características dos teores de metais da fase líquida das ETEs anaeróbias e aeróbia da RMR.....	103
Tabela 3.8	–	Características físico-química dos biossólidos aeróbios e anaeróbios da RMR.....	113
Tabela 5.1	–	Concentrações iniciais e finais dos parâmetros físicos dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira e da ETE Peixinhos na desidratação do lodo em leito de secagem.....	163
Tabela 5.2	–	Concentrações iniciais e finais de nutrientes dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira e da ETE Peixinhos na desidratação do lodo em leitos de secagem.....	169
Tabela 5.3	–	Concentrações iniciais e finais de metais dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira e da ETE Peixinhos na desidratação do lodo em leitos de secagem.....	170
Tabela 5.4	–	Concentrações iniciais e finais de metais pesados dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira e da ETE Peixinhos na desidratação do lodo em leitos de secagem.....	172
Tabela 6.1	–	Concentrações estimulantes e inibidoras de alguns cátions.....	175
Tabela 6.2	–	Composição química das bactérias metanogênicas.....	175
Tabela 11.1	-	Resultados das características físico-químicas da Fase Líquida das ETAs.....	217
Tabela 11.2	-	Resultados das características físico-químicas da Fase Sólida das ETAs.....	219
Tabela 11.3	-	Resultados das características físico-químicas da Fase Líquida das ETEs.....	221
Tabela 11.4	-	Resultados das características físico-químicas da Fase Sólida das ETEs.....	224
Tabela 11.5	-	Resultados das características físico-químicas dos lodos de reator UASB em diferentes profundidades.....	232
Tabela 11.6	-	Resultados das características físico-químicas dos lodos em leito de secagem.....	237

Tabela 11.7	–	Determinação da massa de lodo (73,1 g STV/L) da ETE Mangueira (Recife – PE) e da solução de nutrientes para Teste de Atividade Metanogênica Específica do lodo.....	241
Tabela 11.8	–	Produção de metano (mL) do Lodo da ETE Mangueira no período de 05 a 21/09/00.....	242
Tabela 11.9	-	Determinação da massa de lodo (97,6 g STV/L) da ETE Mangueira (Recife-PE) e da solução de nutrientes para Teste de Atividade Metanogênica Específica do lodo.....	243
Tabela 11.10	–	Produção de metano (mL) do Lodo da ETE Mangueira no período de 21/09/00 a 09/10/00.....	244
Tabela 11.11	-	Resultados das características físico-químicas do sobrenadante das células do reator UASB e da areia do tratamento preliminar da ETE..	246

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

σ	Taxa específica de crescimento dos microrganismos
σ_m	Taxa específica máxima de crescimento dos microrganismos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
AME	Atividade Metanogênica Específica
Al	símbolo químico do alumínio
As	símbolo químico do arsênio
AT	Alcalinidade total
B	símbolo químico do boro
Ba	símbolo químico do bário
Ca	símbolo químico do cálcio
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - São Paulo
Cd	símbolo químico do cádmio
CH ₄	fórmula química do metano
Cl ₂	fórmula química do cloro
Co	símbolo químico do cobalto
CO ₂	fórmula química do gás carbônico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
Cr	símbolo químico do cromo
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	símbolo químico do cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (Rio de Janeiro)
Fe	símbolo químico do ferro
HAc	ou símbolo ou fórmula química do ácido acético
CH ₃ COOH	
Hg	símbolo químico do mercúrio
H ₂ O	fórmula química da água
H ₂ SO ₄	fórmula química do ácido sulfúrico
HNO ₃	fórmula química do ácido nítrico
HClO ₄	fórmula química do ácido perclórico
H ₂ S	fórmula química do gás sulfídrico
K	símbolo químico do potássio
K ₂ O	fórmula química do óxido de potássio
Mg	símbolo químico do magnésio

Mn	símbolo químico do manganês
MO	Matéria orgânica
Mo	símbolo químico do molibdênio
MS	Matéria seca, base seca ou lodo seco
MU	Matéria úmida
N	símbolo químico do nitrogênio
NaOH	fórmula química do hidróxido de sódio
NBR	Norma brasileira
NH₃	fórmula química da amônia
NH₄⁺	íon amônio
Ni	símbolo químico do níquel
NMP	Número mais provável
NO₃⁻	íon nitrato
NTK	Nitrogênio Kjeldahl total
P	símbolo químico do fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
P₂O₅	fórmula química do anidrido fosfórico
Pb	símbolo químico do chumbo
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PS	Peso seco
RMR	Região Metropolitana do Recife
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SDF	Sólidos dissolvidos fixos
SDV	Sólidos dissolvidos voláteis
SST	Sólidos suspensos totais
SSF	Sólidos suspensos fixos
SSV	Sólidos suspensos voláteis
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
UASB	Reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo (<i>upflow anaerobic sludge blanket</i>)
USEPA ou EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (<i>Environmental Protection Agency</i>)
WEF	<i>Water Environment Federation</i>
Zn	símbolo químico do zinco

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

RESUMO

O lodo removido nas diferentes etapas em uma estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE), por apresentar grandes quantidades e composição muito variável constitui um problema complexo. Esta composição está relacionada com as características da água de abastecimento e do esgoto gerado, com o processo de tratamento do esgoto, com as diferentes possibilidades de tratamento e disposição do lodo e com seus possíveis usos. O lodo necessita tratamento, seja para a redução de seu volume ou umidade, seja para a estabilização da matéria orgânica, aproveitamento ou disposição final. O tipo de tratamento será função da sua qualidade, características de operação e processo, custos, condições climáticas, impactos ambientais, da própria distância de transporte e da dificuldade ou facilidade de se encontrar locais apropriados ou seguros para o destino final do lodo. Um primeiro passo para a escolha do tipo de tratamento mais adequado é avaliar o seu posterior uso potencial e a sua caracterização físico-química e microbiológica (teor de umidade, macro e micronutrientes, metais pesados e microrganismos, entre outros). O Estado de Pernambuco não possui dados referentes a essas características, nem das suas principais estações de tratamento de esgotos, cuja maioria se encontra na Região Metropolitana do Recife. Consequentemente, não se sabe ainda qual a alternativa mais apropriada de disposição final do lodo de ETES, com possível aproveitamento do seu valor econômico e agrônomico. A presente dissertação teve como objetivo determinar as características físico-químicas e avaliar o potencial de uso de lodos digeridos de três ETES, sendo duas com reatores anaeróbios tipo UASB, com redes coletoras do sistema do tipo condominial (ETE Mangueira e ETE Vila São João, Recife) e uma com reator aeróbio (ETE Cabo, Cabo de Santo Agostinho). Para efeito de comparação dos resultados de metais pesados, foram incluídos também lodos de 3 estações de tratamento de água (ETA) da RMR (Castello Branco, Gurjaú e Suape). Estas determinações analíticas se estenderam ainda à fase líquida das ETAs e ETES estudadas.

Utilizando-se da técnica de análise de componentes principais, os resultados de metais nos lodos, tanto de ETAs quanto de ETES, mostraram que os teores de alumínio, ferro, sódio, cálcio e cobre, principalmente, são preocupantes caso a disposição final seja através do seu uso agrícola. Entretanto, os metais pesados em ambos os lodos ficaram abaixo dos limites admissíveis; uma exceção ocorreu em relação ao teor de cobre da ETE Cabo. Nos lodos de ETES com reatores UASB, observou-se que em geral, os teores de sólidos totais voláteis e sólidos suspensos voláteis ficaram abaixo dos valores encontrados em outras ETES similares. Esse resultado foi atribuído ao tipo de rede de coleta, com quantidade significativa de areia e pobre retenção nos desarenadores existentes. As concentrações de alumínio e de manganês nos lodos anaeróbios estiveram acima dos valores encontrados em outras ETES. Os resultados dos lodos de UASB em leitos de secagem mostraram que eles se apresentam com boas características para rápida desidratação, em menos de 4 semanas e com bom potencial em termos de nutrientes. A determinação de atividade metanogênica específica do lodo de reator UASB resultou em valores compatíveis para biomassa alimentada com esgoto doméstico; com valores entre 0,08 e 0,19 g DQO/ g SSV.dia, para teores de SSV entre 1,85 g SSV/L e 0,57 g SSV/L, respectivamente, quando o substrato (acetato de sódio) foi utilizado em concentração de 2 g DQO/L nos ensaios. Os resultados obtidos necessitam complementações no tocante as suas características, entretanto, pode-se avaliar que o seu potencial para uso agrícola é bastante promissor. No entanto, recomenda-se um prévio tratamento do lodo na forma de vermicompostagem ou co-compostagem, antes de seu uso.

CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF SLUDGE FROM DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF THE RECIFE METROPOLITAN AREA

ABSTRACT

The sludge produced in a domestic sewage treatment plant (WWTP) is considered as a complex problem, either due to the amount generated or its variable quality. The characteristics of the sludge change with the characteristics of the water supplied and sewage produced, the different treatment processes and disposal, and with its possible use. The sludge needs treatment to reduce the volume and humidity, and to stabilize the organic matter, in order to be used or disposed properly. The sludge treatment depends on its characteristics, the operation and process used, costs, climatic conditions, environmental impacts, distance needed for transport and adequate and safe places to be disposed of. A first step to choose the most appropriate treatment type and to evaluate the potential subsequent use, is to determine the physical, chemical and microbiological characteristics (humidity, macro and micro-nutrients, heavy metals and micro-organisms, among others). There are no referring data about sludge characteristics in Pernambuco State, even from the main sewage treatment plants, whose majority is in the Recife Metropolitan Area. Consequently it is not known yet, which is the most appropriate alternative for the plant sludge final disposal, the possible agronomic use and the economical value. The main objective of the present dissertation was to determine the characteristics physical-chemistries and to evaluate the potential of use of digested sludge from three WWTP, two with UASB reactor type, connected with sewerage condominial system (WWTP Mangueira and WWTP Vila São João, Recife) and one with aerobic reactor (WWTP Cabo, Cabo de Santo Agostinho). To compare the results of heavy metals, sludges from water treatment plants (WTP) were also included in the research (WTP Castello Branco, Gurjaú and Suape). The analytical determination of metals also included the liquid phase of the 3 WTP and 3 WWTP studied.

The results of metals in sludges from WTP and WWTP, by using the principal components analysis, showed that the contents of aluminium, iron, sodium, calcium and copper, mainly, may restrict the agricultural use. However, the heavy metal contents in both sludge types were below the acceptable limits; exception occurred in the case of copper in the sludge from WWTP Cabo. In the case of UASB reactor sludges, the concentrations of total volatile solids and suspended volatile solids in general were lower than those found in similar sludge of anaerobic plants. This can be attributed to the higher amount of grit coming from the sewerage and due to the inefficiency of the existing grit chambers. The concentrations of aluminium and manganese in the anaerobic sludges were above the values found in other sludge plants. The excess sludge from UASB reactor discharged in drying beds showed that they present fast dehydration, in less than 4 weeks, and with good potential in terms of nutrients (N and P). The determination of the sludge methanogenic specific activity of UASB reactors resulted in comparable values for biomass fed with domestic sewage. Values between 0,08 and 0,19 g COD/g VSS.d were obtained for VSS content between 1,85 g VSS/L and 0,57 g VSS/L, respectively, and when the substrate (acetate of sodium) was used in concentration of 2 g COD/L. The research conducted in this work needs further complementary investigation related to sludge characteristics. However, it can be evaluated that the potential for agricultural use is quite promising. Nevertheless, a previous treatment of the sludge, like vermicomposting or co-composting, is recommended before its use.

1.0. INTRODUÇÃO GERAL

A água é o elemento de importância fundamental que deu origem e sustenta todas as formas de vida no planeta Terra. A sua qualidade em termos de características físico-químicas e biológicas, é fundamental para a vida no planeta. Sem a água nenhuma espécie vegetal ou animal, incluindo o homem, sobreviveria.

O consumo de água no mundo elevou-se de maneira assustadora e diversos fatores contribuíram para o consumo excessivo tais como: o grau de civilização, o nível de industrialização e principalmente devido ao aumento populacional, agrícola e industrial.

As atividades humanas geram como subprodutos substâncias químicas tóxicas, metais pesados e grandes quantidades de matéria orgânica, que alteram as características físico-químicas e biológicas das águas, e são capazes de causar impacto significativo sobre o ciclo hidrológico d'água, comprometendo a utilização para fins agrícolas, comerciais, industriais, domésticos e recreativos.

A água utilizada nas atividades domésticas diárias tais como: higiene pessoal, cocção de alimentos, lavagem de utensílios de cozinha, roupas, frutas e verduras, produzem as águas servidas.

O esgoto sanitário, que compreende as águas servidas domésticas, é formado qualitativamente por cerca de 99,9% de água e 0,1% de impurezas físicas, químicas e biológicas. Dentre as impurezas de natureza física estão as partículas sólidas dissolvidas ou em suspensão no meio líquido; nas de natureza química, enquadram-se as substâncias orgânicas (proteínas, gorduras, carboidratos, hidratos, fenóis) e inorgânicas (nitrogênio, fósforo, enxofre, metais pesados, entre outros); nas de natureza biológicas, situam-se as bactérias, vírus, leveduras, vermes e protozoários.

Para proteger a saúde pública e preservar o meio ambiente, convém remover as impurezas físicas, químicas e biológicas que estão dissolvidas e suspensas no meio líquido, nas estações de tratamento de efluentes (ETEs) sanitários ou industriais, e nas estações de tratamento d'água (ETAs) .

Os esgotos, durante as diversas formas de tratamento, em diferentes etapas, formam alguns subprodutos, na forma sólida, semi-sólida, ou líquida, com características e quantidades variáveis. Os subprodutos sólidos de modo geral são os seguintes: material gradeado (sólidos grosseiros), areia, espuma, lodo primário, secundário e terciário. O

fundamental é o lodo, principalmente o lodo secundário, que corresponde à biomassa produzida à custa da matéria orgânica dos esgotos.

1.1. A PROBLEMÁTICA DO LODO

O lodo removido nas diferentes etapas do tratamento muitas vezes constitui um problema particularmente complexo, por apresentar grandes quantidades e ser de composição variável. Esta composição está relacionada com as características do esgoto do qual foi gerado, com o processo de tratamento empregado, com as diferentes possibilidades de disposição e com seus usos.

Independente da origem, o lodo necessita ser tratado para a redução de seu volume ou umidade (por desidratação ou adensamento), para a estabilização da matéria orgânica, aproveitamento ou disposição final. Isto ocorre em função da sua qualidade, características de operação, processo de tratamento, custos, condições climáticas, impactos ambientais, à própria distância de transporte e a dificuldade de se encontrar locais adequados ou seguros para o destino final do lodo seco.

Em países como Estados Unidos, Inglaterra, Japão, entre outros, as alternativas mais utilizáveis são a reciclagem e o retorno do lodo, possibilitando a sua utilização na agricultura, como fertilizante e para recomposição da camada superficial de solos esgotados. Já que possui matéria orgânica, ajuda a melhorar as propriedades físicas do solo; e é benéfico também pelos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, necessários para o desenvolvimento das plantas. Na maioria dos casos, o lodo apresenta teores adequados de nitrogênio e fósforo, mas é deficiente em potássio, necessitando suplementação com fertilizante potássico no solo.

A aplicação no solo na forma líquida ou sólida, a sua compostagem ou co-compostagem com o lixo urbano ou disposição em aterro sanitário, são alternativas de disposição final do lodo aceitas em vários países.

Entretanto, existem restrições para o uso de lodo no solo, devido à presença de patógenos, sais solúveis, compostos orgânicos persistentes e metais tóxicos, bem como ao teor de metais já existentes no solo. Assim, é necessária tanto a determinação das suas características e a avaliação do seu valor agrônômico e econômico, bem como conhecer o potencial tóxico para plantas e/ou animais.

No Brasil, inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas nos Estados do Paraná pela SANEPAR, em São Paulo pela SABESP e no Distrito Federal pela CAESB, objetivando solucionar os problemas da disposição final do lodo de esgotos sanitários e estudando os impactos ambientais deste subproduto nas características físicas, químicas e biológicas dos solos fertilizados e das plantas.

Em diversos estados do país, pesquisadores de várias áreas vêm também desenvolvendo experimentos com diversos tipos de culturas (milho, soja, arroz, maçã, girassóis), observando a quantidade de metais tóxicos e microrganismos patogênicos na raiz, caule, fruto e no solo. Em alguns estados brasileiros, sua utilização como fertilizante agrícola tem sido apontada como a opção mais viável.

O Estado de Pernambuco não possui dados referentes às características físico-químicas e microbiológicas do lodo das principais estações de tratamento de esgotos que visem a sua apresentação com uma alternativa apropriada de disposição final, com aproveitamento do valor econômico e agrônômico. Considerando a grande quantidade de lodo produzido nas estações de tratamento de esgoto doméstico, faz-se necessário um local para o seu descarte (ecologicamente seguro e não oneroso), sendo primordial a determinação quantitativa das características (teor de umidade, macro e micronutrientes, metais pesados e microrganismos entre outros) no lodo daquelas estações.

Devido a carência dessas informações, o presente trabalho teve caracterizou e quantificou os macro e micronutrientes e os teores de metais pesados no lodo de algumas das estações de tratamento de esgotos sanitários da Região Metropolitana do Recife (RMR). Foram selecionadas três ETEs, sendo duas com reatores anaeróbios com redes coletoras do sistema do tipo condominial (ETE Mangueira e ETE Vila São João) e uma com reator aeróbio (ETE Cabo), que o Grupo de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco vem monitorando há alguns anos.

Atualmente, os resíduos gerados nessas ETEs, tanto no tratamento preliminar e/ou primário (sólidos grosseiros e areia), como a espuma dos reatores UASB, são dispostos nos terrenos das próprias estações, ou enviados a aterros sanitários para disposição. Os lodos do tratamento secundário, após estabilizados, são dispostos nos terrenos daquelas estações ou levados por terceiros para serem utilizados como fertilizante na agricultura.

Como as ETEs do sistema convencional pertencentes à COMPESA (ETE Cabanga, ETE Peixinhos e ETE Janga) se encontravam com problemas operacionais, não foi possível realizar os estudos de caracterização físico-química do lodo das mesmas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Gerais

Determinar as características físico-químicas e avaliar o potencial de uso de lodos digeridos provenientes das estações de tratamento de esgoto doméstico da cidade do Recife (ETE Mangueira e ETE Vila São João) e no município do Cabo de Santo Agostinho (ETE Cabo). Para efeito de comparação, em termos de metais pesados, foram incluídos alguns lodos de ETAs da RMR.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar os parâmetros físicos (umidade) do lodo de ETEs.
- b) Determinar a estabilidade da matéria orgânica (teor de sólido fixo) do lodo de ETEs.
- c) Determinar os parâmetros agronômicos (pH, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, magnésio, sódio, entre outros) do lodo de ETEs.
- d) Determinar o teor de metais pesados (cobre, zinco, cádmio, cromo, níquel, chumbo, entre outros) do lodo de ETEs.
- e) Avaliar o valor agronômico do biossólido, digerido e desidratado.
- f) Determinar o potencial poluidor ao meio ambiente do biossólido.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica relacionada ao termo lodo, sua geração nas ETEs, a quantidade produzida, os principais contaminantes, as alternativas de tratamentos e disposições finais do ponto de vista seguro para o meio ambiente e econômico para o gerador do biossólido, as limitações e a legislação vigente para o seu uso.

No Capítulo 3, aborda-se a problemática do lodo de ETAs, a sua geração e as alternativas de tratamento e disposição final. É exposta a metodologia utilizada para a amostragem e caracterização dos lodos coletados, questionando-se os resultados das características da fase líquida e sólida das ETAs e ETEs.

No Capítulo 4, apresenta-se as características construtivas do reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) da ETE Mangueira e se argumenta os resultados das determinações de pH, condutividade elétrica, temperatura, sólidos e metais nos lodos coletados ao longo da altura do reator.

No Capítulo 5, é apresentado o sistema de secagem do lodo do reator UASB da ETE Mangueira, e se debate os resultados das características dos lodos desse reator em leito de secagem.

No Capítulo 6, apresenta-se uma introdução, a metodologia utilizada e se discute os resultados da determinação da atividade metanogênica específica do lodo de reator UASB da ETE Mangueira.

No Capítulo 7, apresentam-se as conclusões gerais da dissertação e no capítulo 8 as sugestões e recomendações para novas pesquisas sobre o tema. No Capítulo 9 se encontram listados as referências bibliográficas presentes nesta dissertação, bem como outras referências apenas consultadas.

Nos Capítulos 10 e 11 têm-se os anexos e apêndice, respectivamente. Os anexos se referem às principais determinações analíticas ou procedimentos empregados para ensaios, utilizados como metodologia. No apêndice se observam todos os resultados das determinações e medições efetuadas durante a parte experimental do trabalho. As publicações resultantes desta dissertação e já apresentadas ou aprovadas para apresentação oral em eventos científicos, estão listadas no Capítulo 12; e finalmente no Capítulo 13 se encontra o *curriculum vitae* da autora.

2.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

2.1. DEFINIÇÕES

Lodos são sólidos acumulados, separados dos líquidos durante os processos de tratamento de água para abastecimento ou de água residuária, ou depositados no fundo dos rios ou outros corpos d'água (SANTOS e TSUTIYA, 1997).

Segundo a FEEMA (1992), a palavra "lodo" reserva-se para o lodo primário, secundário ou terciário, ainda não submetido a nenhum processo de estabilização biológica. O lodo bruto ou lodo não digerido é o lodo sedimentado e removido dos tanques de sedimentação (decantadores primário e secundário), antes que a decomposição esteja avançada. O lodo digerido é a massa semilíquida resultante da digestão ou estabilização da matéria orgânica separada nos decantadores de estações de tratamento biológico, sob condições anaeróbias ou aeróbias, até que os conteúdos voláteis tenham sido reduzidos ao ponto em que os sólidos são relativamente não putrescíveis e inofensivos. O denominado lodo ativado ou ativo é a biomassa composta principalmente por bactérias, geradas durante a remoção da matéria orgânica do esgoto por processo biológico aeróbio. Esse lodo ativado se desenvolve na forma de floco, com crescimento de bactérias do tipo zoogléa e outros organismos. O lodo ativo no tanque de aeração é mantido em concentração suficiente pela recirculação de flocos previamente formados.

A norma brasileira NBR-10.004 (ABNT, 1987) classifica os lodos de estações de tratamento de água (ETA) e de esgotos sanitários (ETE) como resíduos sólidos. Esses lodos podem muitas vezes ser tóxicos e perigosos quando certos esgotos industriais chegam, por captação de águas poluídas ou lançamento em redes de esgotos sanitários, às ETAs e ETEs; dessa forma, os lodos de ambas devem sofrer tratamento apropriado e ser dispostos sem provocar danos ao meio ambiente (BIDONE e POVINELLI, 1999). Segundo SANTOS e TSUTIYA (1997), a NBR 10.004 define os lodos não perigosos (classe III- inertes e/ou classe II - não-inertes) como resíduos sólidos que poderiam ser dispostos em aterros industriais de classe II. Os lodos perigosos (classe I) seriam resíduos sólidos indicados para incineração.

A *Water Environment Federation* (WEF) recomenda o termo "biossólidos" para designar o lodo tratado ou beneficiado em estações de tratamento de esgoto municipais

(SANTOS e TSUTIYA, 1997). O termo biossólido é reservado para um produto estabilizado, caso contrário, são empregados os termos torta, lodo ou sólidos (FERNANDES, 2000).

2.2. PRODUTOS GERADOS NAS ETEs

A composição do esgoto sanitário varia num intervalo de 99,8% a 99,99% de água e 0,01% a 0,2% de sólidos, sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos e 30% inorgânicos (Figura 2.1). A fração sólida é formada pelos sólidos suspensos, compostos orgânicos (proteínas: 40% a 60%; carboidratos: 25 a 50%; e óleos e graxas: 10% gorduras etc.), nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos inertes, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e, ocasionalmente, contaminantes tóxicos decorrentes de atividades industriais ou acidentais (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999; FERNANDES, 2000; MELO e MARQUES, 2000).

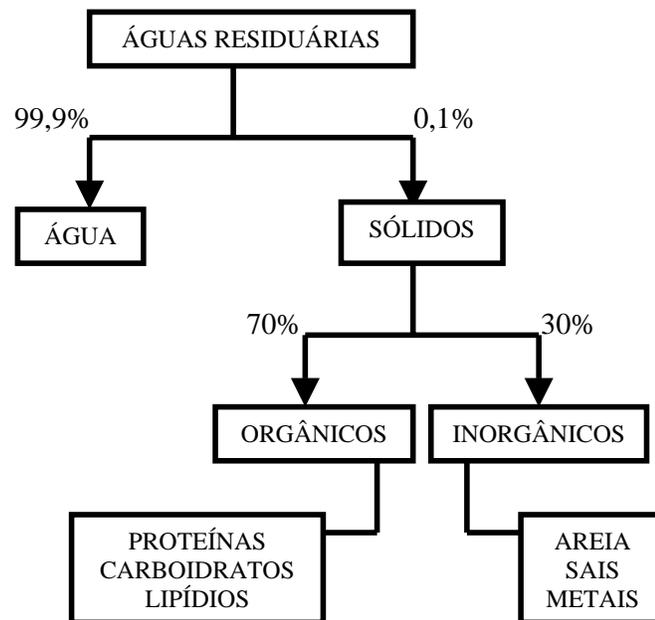


Figura 2.1 – Composição do esgoto doméstico. **Fonte:** adaptado de MELO e MARQUES (2000)

A característica do esgoto varia em função do local de origem (área tipicamente residencial ou tipicamente industrial), da situação social e econômica, dos hábitos da

população, da época do ano e do processo utilizado na ETE (VON SPERLING, 1996; MELO e MARQUES, 2000).

Os sistemas de tratamento de esgoto têm por objetivo remover as impurezas e o material potencialmente poluidor dos esgotos, concentrando-os no lodo produzido (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999). A remoção das impurezas que estão dissolvidas e suspensas no meio líquido nas ETEs, ocorre através de fenômenos físicos, químicos e biológicos durante as etapas de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, gerando um grande volume de subprodutos na forma sólida, semi-sólida, ou líquida, cujo destino final depende do método de purificação e da tecnologia utilizada (NICOLL, 1989; LIMA, 1996). A Tabela 2.1 mostra a relação de produtos gerados no tratamento de esgotos, de acordo com as formas e processos empregados.

2.2.1. Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar dos esgotos em geral destina-se a remover por ação física, o material grosseiro semelhante a lixo em grade, e uma parcela das partículas maiores em suspensão no esgoto em caixa de areia, por sedimentação das partículas pesadas (predominância da areia). O resíduo nesta fase deve ser disposto em aterro sanitário e nunca ser misturado ao lodo primário ou secundário (FERNANDES, 1999).

Segundo GAMA *et al.* (1993), os resíduos gradeados e desarenados de peneiras, e escumas superficiais da digestão anaeróbia, são freqüentemente co-dispostos nos aterros municipais, não no aterro industrial. A areia com baixo teor de matéria orgânica pode ser usada para aterros. Quando a quantidade de matéria orgânica presente no resíduo é elevada, e é capaz de causar mau cheiro, o material deve ser enterrado.

Em Pernambuco, durante as visitas ou coletas de amostras de lodo, observou-se que nas ETEs de Recife, Olinda, Paulista e Cabo de Santo Agostinho, o material removido das grades e das caixas de areia eram separados e enviados a aterros sanitários (Figura 2.2). Na ETE Peixinhos, por exemplo, existiam caçambas para armazenar esse resíduo e posteriormente era enviado ao aterro sanitário. Já na ETE Mangueira, o resíduo retido na grade era armazenado em caçambas para posteriormente enviado ao aterro sanitário e a areia era levada pelos moradores próximos da ETE. Embora esta prática não é recomendada, pois suspeita-se que este material apresente contaminação patogênica.



Figura 2.2 – Resíduo removido da grade da ETE Vila São João (A) e areia removida na limpeza da caixa de areia da ETE Mangueira (B).

2.2.2. Tratamento Primário

O tratamento primário remove por ação física uma parcela a mais das partículas em suspensão no esgoto através da passagem da fase líquida, em baixa velocidade, em um decantador primário. Neste decantador algumas partículas (sólidos sedimentáveis) depositam-se no fundo, onde constituem o lodo primário, e outras ascendem para a superfície líquida, formando a camada de material flutuante (escuma) (FERNANDES, 1999). O lodo gerado no decantador primário contém matéria orgânica bruta que é altamente instável, pois está muito próximo do material fecal inicial, com grande potencial de decomposição pelas bactérias por fermentação e grande problema de emissão de odores indesejáveis. O lodo primário deve passar por um processo de estabilização biológica, sendo a digestão anaeróbia a alternativa mais usada (JORDÃO e PESSOA, 1995; FERNANDES, 1999).

Na ETE Peixinhos em Olinda foi constatado que os lodos removidos dos decantadores primários e secundários eram reunidos para serem tratados anaerobicamente em dois digestores.

Tabela 2.1 - Produtos gerados no tratamento de esgotos domésticos.

Tratamento	Processo	Produtos gerados
Preliminar	Gradeamento	Material gradeado (madeira, trapos, folhas,)
	Remoção de areia Separação de óleo	Areia, silte Óleo, espuma oleosa
Primário	Sedimentação	Sólidos orgânicos (lodo primário), espuma
	Flotação por ar dissolvido Coagulação e sedimentação	Matéria graxa, espuma Sólidos orgânicos, precipitados químicos, espuma
Secundário	Lodos ativados em geral, filtros biológicos, com sedimentação final	Sólidos gerados no processo biológico (lodo secundário)
Terciário	Coagulação química e sedimentação	Sólidos da precipitação química, hidróxidos
	Filtração em areia Adsorção em carvão ativado	Sólidos na água de lavagem Carvão ativado para ser regenerado
Lagoas de estabilização	Lagoas fotossintéticas	Sólidos acumulados no fundo; algas no efluente
	Lagoas aeradas Lagoas de decantação	Sólidos em suspensão no efluente Sólidos gerados na lagoa aerada
Aplicação no terreno	Pré-tratamento primário ou secundário	Sólidos em suspensão no efluente do pré-tratamento
Adensamento do lodo	Adensamento por gravidade, por flotação, filtros de esteiras, centrífugas	Lodo concentrado
Tratamento do lodo	Digestão anaeróbia, aeróbia, compostagem	Sólidos orgânicos parcialmente estabilizados, gás
Remoção da umidade do lodo	Leitos de secagem, desidratação mecanizada	Torta de lodo seco
Disposição final do lodo	Aterros	Sólidos secos espalhados e compactados
	Incineração Pirólise Lançamento submarino	Cinzas Vários poluentes Sólidos rapidamente dispersos e diluídos

Fonte: JORDÃO e PESSOA, (1995)

2.2.3. Tratamento Secundário

O tratamento secundário é um processo biológico que depende do tipo de afluente (esgoto bruto, efluente primário ou preliminar) e do tipo de unidade que promove esse tratamento, se filtro biológico, tanque de lodo ativado, valo de oxidação, carrossel, reator anaeróbio, lagoa aerada, ou lagoa de estabilização (FERNANDES, 1999).

No tratamento secundário, o lodo é gerado na fase biológica (JORDÃO e PESSOA, 1995) a partir da transformação dos sólidos suspensos não-sedimentáveis e dos dissolvidos (IMHOFF e IMHOFF, 1986). O lodo oriundo dos sistemas de aeração consiste em desenvolvimentos microbianos floculentos, com matéria não biodegradável em suspensão e coloidal entranhada. É relativamente livre de odores, devido à oxidação biológica, mas as partículas finas e dispersas tornam-no de difícil desidratação (HAMMER, 1979).

O lodo secundário é mais difícil para desidratar do que o lodo preliminar, uma vez que o constituinte principal é a massa biológica, com os microrganismos contendo muita água dentro da célula viva (NICOLL, 1989). Comparando o lodo secundário com o lodo primário, observa-se que este é concentrado e desidratado mais rapidamente, devido à sua natureza mais fibrosa e grosseira (JORDÃO e PESSOA, 1995).

A diferença na produção de lodo aeróbio e anaeróbio nas estações de tratamento em Pernambuco era evidente, a quantidade de lodo aeróbio é bem superior do que nas estações de tratamento por processo anaeróbio. A ETE Peixinhos utiliza dois processos para reduzir a quantidade de lodo produzida; primeiro faz uma digestão anaeróbia e depois desidrata em leitos de secagem, enquanto que na ETE Mangueira, com reator anaeróbio tipo UASB, o lodo já sai praticamente estabilizado, só necessitando secagem posterior. No tratamento secundário da ETE Mangueira gera-se camada de espuma (Figura 2.3A) e lodo das células do reator UASB (Figura 2.3B).

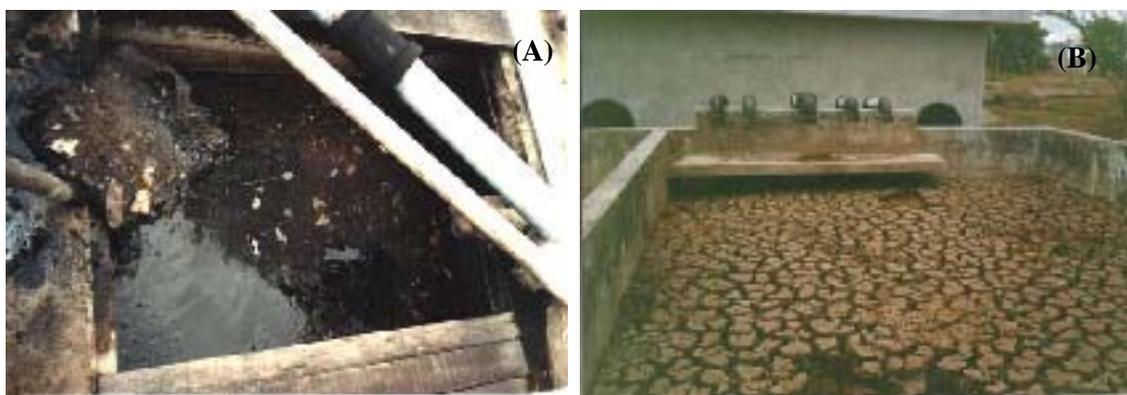


Figura 2.3 – Remoção da camada de espuma de uma das células do reator UASB (A) e lodo do reator UASB desidratado em leito de secagem na ETE Mangueira (B)

Na ETE Mangueira as escumas das células do reator UASB (Figura 2.4A) são dispostas no terreno desta estação ou enviada a aterro sanitário e os lodo dos reatores UASB são levados por terceiros para ser utilizado como fertilizante na agricultura (Figura 2.4B).



Figura 2.4 – Disposição dos resíduos sólidos no terreno da estação (A) e remoção do lodo desidratado em leito de secagem por moradores próximos da ETE Mangueira (B)

2.2.4. Tratamento Terciário

O tratamento terciário (avançado) destina-se a remover do efluente secundário as substâncias que o tornam impróprio para determinado fim ou para ser lançado num manancial d'água (FERNANDES, 1999). Neste tratamento reduzem-se dos esgotos sanitários as concentrações de nitrogênio, fósforo e organismos patogênicos que podem causar problemas no corpo receptor. A remoção do nitrogênio e fósforo ocorre por processos biológicos (nitrificação e desnitrificação), no caso do fósforo também pode ocorrer por meio de tratamento químico, com sulfato de alumínio. A redução no número de patógenos pode ser efetuada utilizando sistemas de tratamento com uso de disposição no solo ou de lagoa de estabilização (Figura 2.5). O lodo produzido deve ser adensado, digerido, desidratado e disposto conveniente (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999).



Figura 2.5 – Lodo na parte superior da lagoa de polimento da ETE Mangueira.

2.3. QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDO

A quantidade e a natureza do lodo gerado podem ser relacionadas com as características do esgoto e do processo de tratamento empregado (JORDÃO e PESSOA, 1995) (Figura 2.6). O volume de lodo produzido no processo anaeróbico geralmente é menor que 20% do volume produzido pelo processo aeróbico para um mesmo efluente líquido (CAMPOS, 2000). Seu volume é tanto maior quanto mais avançado é o grau de tratamento (IMHOFF e IMHOFF, 1986). Nas estações de tratamento aeróbico de esgoto, cerca da metade ou mais da matéria orgânica é convertida em lodo e a outra parte é eliminada por gaseificação ou por liquefação (EDEN *et al.*,1981; IMHOFF e IMHOFF, 1986; LIMA, 1996). O lodo proveniente de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo possui produção bem baixa e elevada concentração. Este lodo já sai estabilizado, podendo ser simplesmente desidratado em leitos de secagem (VON SPERLING, 1996).

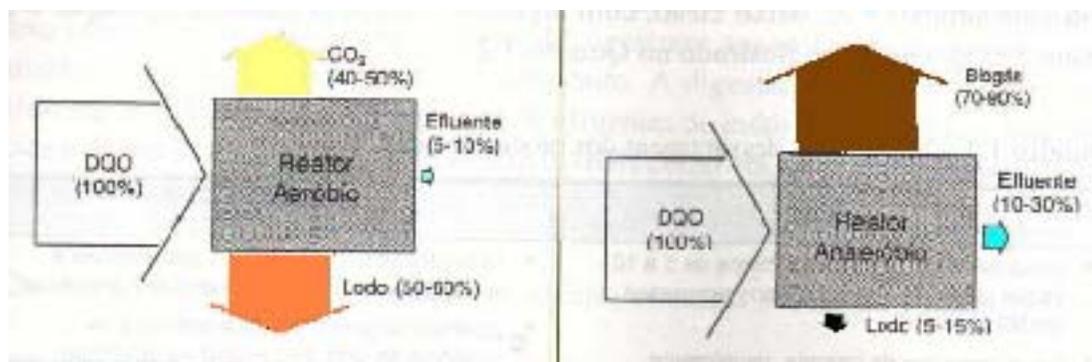


Figura 2.6 - Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios. **Fonte:** CHERNICHARO (1997)

A Tabela 2.2 apresenta a variação na produção de lodo conforme o tipo de tratamento.

Tabela 2.2 – Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios.

Tipo de Tratamento	Quantidade de lodo produzida (m³/hab.ano)
Lagoa facultativa primária	0,037
Lagoa facultativa	0,03 – 0,08
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	0,01 – 0,04
Lagoa aerada facultativa	0,03 – 0,08
Lodos ativados convencionais	1,1 – 1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	0,7 – 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 – 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	0,4 – 0,6
Filtro biológico (alta carga)	1,1 – 1,5
Biodisco	0,7 – 0,1
Reatores anaeróbios de manta de lodo	0,07 – 0,1
Fossa séptica – filtro anaeróbio	0,07 – 0,1

Fonte: ARCEIVALA (1981) *et al.*, citado por FERREIRA, ANDREOLI e JÜRGENSEN (1999a)

Segundo IMHOFF e IMHOFF (1986), a melhor maneira de determinar a quantidade de lodo é a partir do número de habitantes servidos pelo sistema unitário de esgotamento, sendo recolhidas pela rede coletoras tanto as águas servidas quanto as pluviais. O deflúvio que ultrapassar o quántuplo da vazão de tempo seco é desviado da estação depuradora por meio de um extravasor sem sofrer tratamento. Além disso, afirmam que deverão ser feitos acréscimos decorrentes dos esgotos urbanos contendo despejos industriais com elevados teores de lodo. E que em se tratando de poluição de natureza orgânica, a determinação da população equivalente dará as diretrizes para o cálculo.

NEDER e PINTO (1991) citam que a quantidade de lodo a ser produzida em uma estação de lodos ativados depende de uma série de fatores relacionados com o perfil da população contribuinte e a própria configuração do tratamento adotado. A determinação de valores *per capita* médios em áreas urbanas no Brasil é uma tarefa muito difícil, em função da própria dificuldade da determinação da população contribuinte e mesmo do monitoramento minucioso nas estações de tratamento. Segundo CAMPOS (2000) de maneira geral, a cada pessoa corresponde uma produção diária de lodo para os processos aeróbios da ordem de 20 a 35 g de sólidos secos e para os processos anaeróbio de 3 a 15 g de sólidos secos.

Através de uma operação de "balanço de massa" de uma estação de tratamento, pode ser estimada a quantidade de sólidos retidos ou gerados, expressando a quantidade de lodo sob uma das seguintes formas (JORDÃO e PESSOA, 1995): (i) volume do lodo: nesse caso inclui a parcela de água (m³ de lodo úmido) ou (ii) massa de sólidos secos: nesse caso se exclui a parcela de água (kg de sólidos totais em suspensão – SST). A Tabela 2.3 relaciona as características do teor de sólidos, umidade e quantidade de lodo produzido em alguns tipos de tratamento.

Tabela 2.3 – Quantidade e característica do lodo dos esgotos.

Tratamento	Quantidade de lodo (L/hab.dia)	Teor de sólidos (g/hab.dia)	Umidade (%)
Sedimentação primária:			
Lodo fresco	1,08	54	95
Lodo digerido	0,26	34	87
Filtro biológico:			
Lodo fresco	0,16	13	92
Lodo digerido			
Com lodo primário	0,43	43	90
Biofiltração:			
Lodo fresco	0,40	20	95
Lodo digerido			
Com lodo primário	0,48	48	90
Lodos ativados:			
Lodo fresco	4,43	31	99,3
Lodo digerido			
Com lodo primário	0,79	55	93
Lagoas primárias (anaeróbias ou facultativas)			
Regiões de clima frio	0,08	-	-
Regiões de clima quente	0,4	-	-

Fonte: LIMA (1996), GONÇALVES e OLIVEIRA (1999)

Na Tabela 2.4, a quantidade de lodo produzido em diversos tipos de sistema de tratamento utilizado na Alemanha, é relacionada com as quantidades de sólidos, do teor de sólidos e água.

Tabela 2.4 – Produção de lodo na Alemanha.

Tratamento	(a) Quantidade de sólidos (g/hab.d)	(b) Teor de sólidos (%)	(c) Teor de água (%)	(d) Quantidade de lodo (L/hab.d) $\frac{(a) \times 100}{(b)}$ 1000
a. Decantador com digestor:				
1. Lodo fresco, retirado sob água de decantadores cônicos	45	2,5	97,5	1,8
2. Como acima, adensado	45	5	95	0,90
3. Lodo digerido, desidratado	30	10	90	0,30
4. Lodo digerido, desidratado artificialmente	30	30	70	0,10
5. Idem, secado ao ar	30	45	55	(0,13)
b. Filtro biológico, com digestor				
6. Lodo do decantador secundário	25	4	96	0,63
7. Lodo bruto, mistura do lodo primário com o secundário	70	4,7	95,3	1,5
8. Lodo digerido, misturado, úmido	45	3	97	1,5
9. Lodo digerido, desidratado artificialmente	45	28	72	0,16
10. Idem, secado ao ar	45	45	55	(0,19)
c. Lodos ativados com digestor ou estabilização aeróbia do lodo				
11. Excesso de lodo ativado, bruto, recalçado	35	0,7	99,3	5,00
12. Mistura de lodo primário e excesso de lodo ativado, bruto, adensado	80	4	96	2,00
13. Lodo misto digerido, úmido	50	2,5	97,5	2,00
14. Lodo misto digerido, desidratado artificialmente	50	22	78	0,23
15. Lodo misto estabilizado aerobiamente, adensado	50	2,5	97,5	2,00
16. Idem, desidratado artificialmente	50	20	80	0,25
17. Idem, secado ao ar	50	45	55	(0,21)
d. Precipitação química e floclulenta				
18. Pré-precipitação, lodo primário bruto, adensado	65	4	96	1,60
19. Lodo da pré-precipitação digerido, adensado	45	5	95	0,90
20. Precipitação simultânea (lodos ativados), lodo primário e secundário, bruto, adensado	90	4	96	2,25
21. Precipitação simultânea, lodo misto, digerido e adensado	60	3	97	2,00
22. Pós-precipitação, lodo bruto da fase terciária, adensado	15	1,5	98,5	1,00

Fonte: IMHOFF e IMHOFF (1986)

A Tabela 2.5 mostra os resultados experimentais obtidos por vários pesquisadores na produção de lodo biológico anaeróbio em reatores tipo UASB com sistemas em escala piloto ou escala real, tratando esgoto municipal bruto.

Tabela 2.5 – Produção de lodo biológico anaeróbio em reatores tipo UASB.

Referência	Produção de sólidos (gSST/hab.d) (a)	Teor de sólidos (g/L) (b)	Teor de água (%) (c)	Quantidade de lodo (L/hab.d) (d) = (a) / (b)
AISSE (1999)	15 – 25	-	-	-
LOUWE KOOIMARS et al.	20	-	-	-
HASKONING	10 – 20	50 – 100	90 – 95	0,2
VIEIRA e SOUZA	22	72	93	0,31
HASKONING et al.	15	60 a 80	93	0,21
VAN HAANDEL e LETTINGA	16	50 a 75	93	0,26

Fonte: AISSE et al. (1999b)

2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS TÍPICAS DO LODO

A propriedade física do lodo é dada freqüentemente pelo aspecto, cor e cheiro. O lodo bruto proveniente do processo de tratamento primário das ETEs, é obtido por sedimentação ou flotação, é acinzentado ou amarelado, apresenta aspecto pegajoso, e contém fragmentos facilmente reconhecíveis de excrementos, papel e restos de verduras. Tem na maioria dos casos mau cheiro, é facilmente fermentável e seca com dificuldade. A água intersticial é turva e de odor ofensivo. O lodo digerido é aquele que sofreu processo de estabilização biológica obtida por biodigestores anaeróbios ou aeróbios, com redução de SSV superior a 40%. Quando bem digerido, o lodo aeróbio ou anaeróbio, não possui odor ofensivo. O lodo estabilizado aerobicamente (ex.: aeração prolongada) ou ativado é produzido em reatores biológicos e ETEs que utilizam o processo biológico de tratamento; tem aparência floclulenta, coloração com tons de marrom a marrom e odor pouco ofensivo quando mantido em condições aeróbias ou fresco (cheira a terra). (Figura 2.7A) Quando disposto em camada fina sobre leitos de secagem, seca no verão em duas semanas, sem causar problemas de cheiro. O lodo digerido anaeróbio apresenta coloração marrom escura ou preta (devido ao sulfato de ferro) e tem cheiro de piche, se for bem digerido não possui odor ofensivo (Figura 2.7B). Pode ser secado até a consistência de húmus em uma semana, quando espalhado sobre um

leito de areia em camada de 0,2 m de profundidade. A água intersticial é clara (águas brancas) (IMHOFF e IMHOFF, 1986; LUDUVICE, 2000).

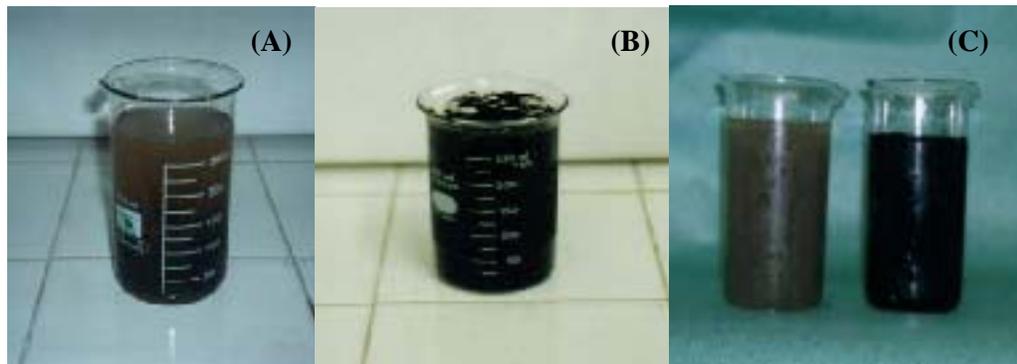


Figura 2.7 – Aspecto dos lodos da ETE aeróbia (A) e do reator UASB da ETE Mangueira (B). Lodo A e B lado a lado (C).

2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS LODOS DE ETEs

2.5.1. Características Gerais

O lodo é gerado nos sistemas de tratamento biológico de esgoto a partir de uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos. A fração orgânica do lodo apresenta uma parte de lodo ativo (“viável”) composto por uma fração de microrganismos atuantes no metabolismo de material orgânico e outra fração de lodo inativo (“não viável”) composto do material orgânico em suspensão sem atividade biológica. No lodo inativo, a fração orgânica é composta de material orgânico não biodegradável, constituído do lodo inerte gerado a partir da floculação do material orgânico não biodegradável e particulado do afluente, e do resíduo endógeno originado da floculação de sólidos orgânicos inertes do afluente e do decaimento de lodo ativo. A parte inorgânica origina-se da floculação de sólidos inorgânicos em suspensão e sais inorgânicos (fosfatos, (bi)carbonatos, sulfatos etc.) (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999; FERNANDES, 2000).

A composição do lodo depende do material orgânico no esgoto, segundo FORESTI et. al. (1999):

i) O lodo terá uma fração de material inorgânico devido à flocculação de sólidos minerais suspensos presentes no efluente ou à geração de sais insolúveis no reator (ex.: CaCO_3). Em muitos casos, observou-se fração mineral superior a 50% em sistemas de tratamento anaeróbio de esgoto.

ii) O lodo também terá uma fração orgânica inerte que se origina da flocculação de material orgânico biodegradável e particulado presente afluente. Dependendo das condições de operação, também é possível que haja uma fração de sólidos orgânicos biodegradáveis, mas (ainda) não metabolizados. Conseqüentemente, a fração de massa de bactérias atuantes na digestão anaeróbia não será muito grande.

iii) As bactérias poderão permanecer um período prolongado no sistema de tratamento (várias semanas ou vários meses), de modo que pode haver decaimento significativo de sua atividade e conseqüente acumulação de resíduo endógeno no sistema. Isso se dará particularmente para as bactérias da fermentação ácida que apresenta velocidade de decaimento mais elevada que as da fermentação metanogênica.

O lodo é constituído, em boa parte, por bactérias vivas (FERNANDES, 2000). No lodo aeróbio, a fração de massa bacteriana é elevada (dependendo da idade do lodo, 50% a 90% da massa bacteriana), enquanto no lodo anaeróbio esta fração está na faixa de 2% a 20% (AISSE et al., 1999b).

A respeito da composição química e outras características dos lodos, pode-se dizer que eles apresentam qualidade e quantidade variadas e que dependem de vários fatores como: dieta da população contribuinte, o tipo e composição do esgoto (com ou sem presença de algum despejo não doméstico), os processos e o grau do tratamento desse esgoto (NICOLL, 1989; LIMA, 1996).

Na maior parte das etapas do seu manuseio, o lodo é constituído de mais de 95% de água e a concentração de sólidos é muito baixa, da ordem 0,25 a 12% do lodo em peso. O lodo formado no fundo do decantador primário geralmente tem, em média, 95% de água e o do decantador secundário 98 a 99,5% (FERNANDES, 1999). O lodo aeróbio possui um alto teor de umidade, 98 a 99% (HAMMER, 1979). Apenas por convenção, o lodo é designado por fase sólida, visando distinguí-lo do fluxo do líquido que está sendo tratado (METCALF e EDDY, 1991; NEDER e PINTO, 1991; FERNANDES, 1997).

O lodo de esgoto pode ter na sua composição: 30% de matéria mineral e 70% de matéria orgânica (proteína, hidrato de carbono e gordura), biodegradáveis e inertes,

combustíveis ou não, separadas durante o processo de tratamento dos esgotos (IMHOFF e IMHOFF, 1986; NICOLL, 1989; VON SPERLING, 1996). Durante o processo de digestão o lodo perde cerca de 2/3 de matéria orgânica, apresentando após a digestão 45% de matéria orgânica e 55% de substâncias minerais (IMHOFF e IMHOFF,1986). A composição típica do lodo bruto e digerido é mostrado na Tabela 2.6 a seguir.

Tabela 2.6 - Composição química e propriedades típicas do lodo bruto e digerido.

Parâmetros	Lodo bruto		Lodo digerido	
	Intervalo	Valor médio	Intervalo	Valor médio
pH	5,0 - 8,0	6,0	6,5 - 7,5	7,0
Alcalinidade (mg/L em CaCO ₃)	500 - 1500	600	2500 - 3500	3000
Ácidos orgânicos (mg/L em HAc)	200 - 2000	500	100 - 600	200
Sólidos totais (ST) (% de MU)	2 - 8	5	6 - 12	10
Sólidos voláteis (% de ST)	60 - 80	65	30 - 60	40
Graxas e gorduras solúveis em éter (% de ST)	6 - 30	-	5 - 20	18
Proteínas (% de ST)	20 - 30	25	15 - 20	18
Nitrogênio (N, % de ST)	1,5 - 4,0	2,5	1,6 - 6,0	3,0
Fósforo (P ₂ O ₅ , % de ST)	0,8 - 2,8	1,6	1,5 - 4,0	2,5
Potássio (K ₂ O, % de ST)	0,0 - 1,0	0,4	0,0 - 3,0	1,0
Celulose (% de ST)	8 - 15	10	8 - 15	10
Ferro (exceto na forma de sulfeto)	2,0 - 4,0	2,5	3,0 - 8,0	4,0
Sílica (SiO ₂ , % de ST)	15,0 - 20,0	-	10,0 - 20,0	-

HAc = ácido acético

Fonte: adaptado de METCALF e EDDY (1991)

Na Tabela 2.7 são apresentados os resultados das características do lodo da ETE Vila Leopoldina, na cidade de São Paulo.

Tabela 2.7 – Resultados da caracterização do lodo da ETE Vila Leopoldina, localizada na cidade de São Paulo.

Parâmetros	Valores encontrados
Sólidos totais (ST) (% de Matéria Úmida)	39,87
Matéria orgânica (% de ST)	31,74
Nitrogênio (% de ST)	1,26
Fósforo (P ₂ O ₅ , % de ST)	2,60
Potássio (K ₂ O, % de ST)	0,31
Zinco (mg/kg)	4.151,2
Zn equivalente (mg/kg)	8.675
Cobre (mg/kg)	1.039,20
Níquel (mg/kg)	562,40
Cromo (mg/kg)	884,00
Chumbo (mg/kg)	730,00
Cádmio (mg/kg)	11,08

Fonte: SANTOS (1989)

A Tabela 2.8 apresenta as características físico-químicas (pH, umidade, macro e micro nutrientes) dos lodos de ETEs pesquisados no Estado do Paraná.

Tabela 2.8: Caracterização físico-química dos lodos de ETEs pesquisados na cidade de Curitiba no Estado do Paraná.

Amostras	Teor de nutrientes													
	pH	Umidade (% MU)	C (% ST)	N	B	Mn	Fe	Al	S	P	Ca	Mg	Cu	Zn
Lodo da ETE Sul	7,9	70,95	38,02	5,06	20,7	649,0	4202,0	14000,0	8930,0	7808,0	125000,0	1811,0	725,0	207,0
Lodo do RALF 1 da ETE Norte	6,7	98,30	32,18	3,26	18,0	200,0	47600,0	8556,0	8318,0	4500,0	13200,0	1900,0	282,0	1041,0
Lodo do biodigestor da ETE Norte	7,2	96,56	29,76	2,97	15,0	339,0	4024,0	8991,0	1700,0	8300,0	27600,0	2300,0	196,0	710,0
Lodo do RALF 2 da ETE Norte	6,9	99,24	36,15	2,79	20,0	190,0	50203,0	8446,0	9797,0	4300,0	3400,0	2200,0	285,0	1073,0

Fonte: AISSE *et al.*, 1999a

2.5.2. Constituintes Específicos e Possíveis Contaminantes Encontrados nos Lodos e Seus Riscos

Nos sistemas de tratamento de esgoto, o lodo produzido concentra os nutrientes, a matéria orgânica, os metais pesados, os organismos patogênicos e outros elementos que podem oferecer risco ao meio ambiente, caso não sejam controlados e monitorados adequadamente (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999).

As características físicas e químicas do lodo afetam diretamente os processos de tratamento e o meio mais econômico de disposição final. Quando se quer tratar o lodo, a primeira atividade a ser realizada é o levantamento dos dados característicos de qualidade e quantidade (NICOLL, 1989; LIMA, 1996).

JORDÃO e PESSOA (1995) e SANTOS e TSUTIYA (1997) afirmam que, quando se escolhe os processos de tratamento e disposição final, os principais constituintes do lodo a serem levantados são: matéria orgânica, nutrientes, organismos patogênicos, metais pesados, produtos químicos e substâncias tóxicas.

a) Matéria Orgânica

Segundo EDEN *et al.* (1981), o maior problema do tratamento de esgotos é o destino dado à matéria orgânica que chega à estação. Muitas estações empregam o processo de digestão anaeróbia e secagem em leitos para reduzi-la no lodo.

A matéria orgânica no lodo é expressa em termos da concentração de sólidos em mg/L, ou teor de sólidos secos em percentagem, ou representada pela relação sólidos voláteis/sólidos totais, em % SV/ST. O teor de sólidos do lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos domésticos costuma apresentar faixas típicas de variação de acordo com o próprio tipo de lodo (Tabela 2.9). Valores típicos para lodo gerado em estações de tratamento de esgotos domésticos estão na faixa de 75 a 85% SV/ST (JORDÃO e PESSOA, 1995). HAMMER (1979) afirma que as concentrações típicas de sólidos nos diversos lodos são (em % do lodo úmido):

- i) Lodo primário bruto - 6 a 8%
- ii) Lodo primário mais húmus da filtração biológica - 4 a 6%

- iii) Lodo primário mais lodo secundário da aeração - 3 a 4%
- iv) Lodo ativado puro - 0,5 a 2%

Em todos esses tipos de lodo, a porcentagem de sólidos voláteis é cerca de 70% dos sólidos secos totais (% de ST). Segundo IMHOFF e IMHOFF (1986) em função das características do processo, as faixas típicas do teor de sólidos secos no lodo secundário podem ser as seguintes (em % do lodo úmido):

- i) Lodo ativado em excesso, de estações clássicas de lodos ativados: 0,5 a 1,5%
- ii) Lodo ativado em excesso, de aeração prolongada: 0,8 a 2,5%.
- iii) Lodo ativado em excesso, de estações com oxigênio puro: 1,25 a 3,0%
- iv) Lodo ativado em excesso, aeração prolongada com oxigênio puro: 1,5 a 4,0%
- v) Lodo de estações com filtração biológica de alta taxa: 1,0 a 3,0%.

Tabela 2.9 - Teores de sólidos totais e de sólidos voláteis em diferentes tipos de lagoas de estabilização operando no Espírito Santo.

ETE	Sólidos totais (% MU)	Sólidos voláteis (% ST)
Lodo de lagoa anaeróbia (ETE Eldourado, no ES)	18,3	37,2
Lodo de lagoa facultativa primária (ETE Mata Serra, no ES)	8,4	35,8
Lodo de lagoa de Sedimentação (ETE Valparaíso, no ES)	5,8	54,8

Fonte: Adaptado de MULLER (1998) citado por GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI (2000).

Segundo EDEN *et al.* (1981), o conteúdo do teor de sólidos em suspensão determinará a massa adicional de lodo primário a ser tratado e descartado; e o conteúdo de material orgânico biologicamente degradável (teor da DBO) determinará tanto a carga a ser imposta ao tratamento secundário, como a massa adicional de lodo secundário que terá que ser manejada.

A verificação do percentual de SV/ST é importante em relação aos processos de estabilização biológica (digestão), de incineração, de aplicação no solo, de produção de fertilizantes, e como indicador para potenciais problemas de odor nos casos de armazenamento e manuseio (JORDÃO e PESSOA, 1995). O projeto e a operação de um

sistema de disposição de lodo têm por base o volume de lodo úmido, bem como no teor de sólidos secos (HAMMER, 1979).

b) Nutrientes

O teor de nutrientes (N, P e micronutrientes) e o conteúdo de matéria orgânica presentes no lodo do esgoto têm importância maior nos casos de aplicação no solo ou uso para produção de fertilizantes (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999).

Os teores de nutrientes presente no lodo de esgoto são superiores aos encontrados na maioria dos materiais orgânicos de uso habitual na agricultura (Tabela 2.10) (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999).

Tabela 2.10 – Composição média de nutrientes e matéria orgânica em diferentes tipos de lodo do Paraná e outros materiais orgânicos.

Tipo de lodo	Água	M.O.	N	P	K
	(% de MU)	(% de ST)			
Lodo aeróbio calado	85,0	69,2	2,5	0,90	0,2
Lodo anaeróbio	65,0	36,2	1,6	0,20	0,05
Esterco de poedeiras	-	-	2,00	2,00	2,00
Esterco de bovinos	83,5	14,6	0,30	1,17	0,10
Esterco de eqüinos	75,8	21,0	0,44	0,32	0,35
Esterco de ovinos	65,0	31,4	0,60	0,30	0,15
Esterco de suínos	81,0	12,0	0,60	0,60	0,30
Lodo de lagoa anaeróbia (ETE Eldourado, no ES)	-	-	2,0	0,2	0,04
Lodo de lagoa facultativa primária (ETE Mata Serra, no ES)	-	-	2,0	0,2	0,05
Lodo de lagoa de Sedimentação (ETE Valparaíso, no ES)	-	-	4,0	3,5	0,07

Fonte: Adaptado de ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI (1999); MULLER (1998) citado por GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI (2000)

Os lodos digeridos aerobicamente tendem a concentrar mais os nutrientes e patógenos; enquanto os lodos anaeróbios são naturalmente menos concentrados (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999). Segundo LIMA (1996), o teor médio dos nutrientes nos lodos digeridos é o seguinte:

i) Nitrogênio (N): 2,25 %

ii) Fósforo (P_2O_5): 1,5 %

iii) Potássio (K_2O): 0,50 %

Os lodos resultantes do tratamento anaeróbio do esgoto, depois de secos constituem matéria rica em colóides, além de conter uma certa proporção de substâncias nutrientes para vegetais, portanto útil como adubo para a agricultura (BRANCO, 1986).

Segundo LIMA (1996), a aplicação agrícola do lodo não pode ser feita de modo indiscriminado, dada a possibilidade de acumulação excessiva de nitratos e metais pesados no solo. As concentrações elevadas de nitrato são tóxicas para as plantas. A lixiviação do excesso desse nutriente que não é utilizado pelas plantas pode poluir as águas subterrâneas e superficiais, resultando em riscos à saúde das populações que delas se abastecem. A Organização Mundial de Saúde estabelece um teor máximo de 10 mg N/L de nitrato na água potável.

FERREIRA, ANDREOLI e LARA (1999) dizem que o nitrato encontrado no lodo é decorrente da mineralização do nitrogênio e possui alta mobilidade no solo, deslocando-se com facilidade para baixo, além da zona radicular, podendo atingir as águas subterrâneas.

A importância do nitrogênio limita a aplicação das doses do lodo no solo é por ser um fator limitante pelas doses de lodo.

O íon amônio (NH_4^+) tende a se transformar em NO_3^- em curto espaço de tempo, sendo a concentração deste mais predominante em épocas de estiagem do que em épocas de chuva. O nitrato existente no solo forma sais de alta solubilidade e é pouco retido pelas partículas coloidais. Portanto, está sujeito a ser lixiviado para fora da zona radicular durante o ciclo da cultura (permanente no caso de tratamento), se houver movimento descendente da água de chuva ou aplicação do efluente (CORAUCCI FILHO et al., 1999a).

As quantidades de magnésio e enxofre presentes no lodo, são suficientes para suprirem as necessidades da maioria das culturas, mesmo se aplicados em quantidades modestas. Estes elementos estão presentes no lodo essencialmente na forma mineral. O lodo contém quantidades menores de molibdênio e cloro e quantidades expressivas de cobre, zinco e manganês que são também metais pesados (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999).

c) Organismos Patogênicos

As impurezas em suspensão e as substâncias dissolvidas contidas no esgoto bruto são transformadas em massa celular através da síntese biológica formando o lodo. O seu manuseio e destino final às vezes constitui um problema tão embaraçoso como o esgoto de que ele provém (LIMA, 1996). O lodo gerado no processo de tratamento de esgoto contém bactérias, vírus, protozoários, etc., e uma pequena quantidade desses organismos pode ser de patogênicos (SANTOS e TSUTIYA, 1997).

Segundo ILHENFELD, ANDREOLI e LARA (1999) os vários processos de tratamento de esgoto resultam em produtos finais com diferentes cargas orgânicas e diferentes quantidades de agentes patogênicos. O lodo pode ser caracterizado pelos principais agentes patogênicos, tais como ovos de helmintos, cistos de protozoários, colônias, hifas de fungos e alguns vírus (Tabelas 2.11 e 2.12). Destes, os parasitos destacam-se como os mais perigosos ao ser humano e animais, em razão da sua capacidade de sobrevivência no solo. Os principais parasitos presentes no lodo compreendem:

- i) Nematóides: *Ascaris spp.*, *Ancylostoma duodenale*, *Neeator americanus*, *Trichuris trichiura*, *Toxocara canis* e *Trichostrongylus axei*. Estes parasitos podem causar desde distúrbios digestivos e nutricionais até gastrite e úlceras gástricas.
- ii) Cestóides: *Taenia spp.*, *Hymenolepis spp.*, *Echinococcus*. Os sintomas provocados por estes organismos no homem, compreendem problemas digestivos, hepáticos e pulmonares anorexia, emagrecimento até sintomas nervosos, sendo o mais grave a neurocisticercose provocada por *Taenia solium*.
- iii) Protozoários: *Entamoeba histolytica*, *Giárdia lamblia*, *Toxoplasma gondi*, *Balantidium coli*, *Cryptosporidium*. Estes protozoários são responsáveis por problemas como enterite aguda, diarreia, perda de peso, alterações de sistema nervoso, gastroenterite.

Tabela 2.11 – Bactérias (NMP/100 mL) presentes nos lodos de estações de tratamento de esgoto doméstico.

ETE	Coliforme fecal	Salmonella	Pseudomonas
Primário bruto	11,4 . 10 ⁶	460	46.000
Filtro biológico	11,5 . 10 ⁶	93	110.000
Lodo ativado	0,66 . 10 ⁶	150	100.000
Lodo ativado	0,32 . 10 ⁶	7,3	1.000
Digestor anaeróbio	0,39 . 10 ⁶	29	34
Digestor em pH ° 7,8	32 . 10 ⁶	460	21.000
Digestor em pH ° 9,0	32 . 10 ⁶	1.500	24.000
Digestor em pH ° 11,5	0,014 . 10 ⁶	< 3,0	< 3,0

NMP - número mais provável

Fonte: adaptado de CARROL *et al.* (1975) citado por CORAUCCI FILHO *et al.* (1999a).

Tabela 2.12 – Caracterização microbiológica do lodo no Espírito Santo, em Brasília e requisitos de norma americana.

ETE	Ovos viáveis de helmintos (ovos/g MS)	Ovos de helmintos (ovos/g MS)	Coliformes fecais
Lodo ETE Maringá -ES	3,5	76,4	10 ⁴
Lodo ETE Eldorado -ES	-	12,9	10 ³
Lodo ETE CAESB	3,0	13,0	10 ⁶
EPA Classe A	<1	NE	< 10 ²
EPA Classe A	NE	NE	< 10 ⁶

MS – matéria seca; NE – não especificado

Fonte: CAESB (1998) e MULLER (1998) citados por GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI (1999).

Conforme GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI (2000) os tipos de microorganismos que podem ser encontrados em lodos de esgoto refletem três categorias gerais: (1) os que geralmente participam no processo de tratamento; (2) os que podem causar problemas no processo de tratamento, e (3) os que não participam do processo de tratamento e estão somente presentes. Esta última categoria inclui a maioria das bactérias patogênicas, vírus e os parasitos (LUE-HING *et al.*, 1992). Estes microorganismos podem ser caracterizados, usualmente, pela sua resistência, pois eles conseguem sobreviver a uma variedade de fatores ambientais, como as flutuações de temperatura, pH, radiação solar, limitação de nutrientes, etc.

Em um sistema de lodo ativados, os principais microrganismos são (GAMA *et al.*, 1993): bactérias, protozoários, rotíferos e microrganismos filamentosos.

No tratamento anaeróbio do esgoto, os lodos resultantes depois de secos apresentam principalmente ovos de vermes nematóides, parasitas intestinais do homem (por exemplo do gênero *Ascaris*), além de formas de resistência de protozoários (tais como *Entamoeba histolytica*) e bactérias patogênicas, bem como sementes de plantas daninhas à agricultura. Os cistos de amebas assim como ovos de *Ascaris* (resistem, vivos, aos processos de tratamento, inclusive à digestão e secagem comum do lodo) e larvas de *Taenia saginata* não suportam temperaturas superiores a 60°C por mais de 5 minutos, enquanto as bactérias dos gêneros *Salmonella* e *Shigella* morrem quando submetidas a essa temperatura por espaço de tempo superior a 20 minutos. Os enterovírus morrem a 62°C por 30 minutos ou 71°C por 15 minutos (BRANCO, 1986).

Vários autores (GAMA *et al.*, 1993; JORDÃO e PESSOA, 1995; SANTOS e TSUTIYA, 1997) relataram que mesmo o lodo seco sendo considerado um material não perigoso, deve-se preocupar com a possível transmissão de doenças, já que a presença de ovos de áscaris requer cuidados especiais no manuseio do lodo; como prevenção, recomenda-se que:

- i) O lodo em qualquer estágio de estabilização, não deve ser utilizado em hortas ou em culturas de vegetais ingeridos crus, como alface, agrião, rabanetes, cebolas, salsa, morango, etc.
- ii) Pode ser utilizado seco no caso de árvores, arbusto e gramados, devendo ser aplicado em quantidades adequada, considerando-se também as características do solo.
- iii) O lodo cru, não digerido, não deve ser utilizado para fins agrícolas

Na Tabela 2.13 mostra-se a quantidade de lodo, dependendo do tipo da cultura a ser utilizado, nos Estados Unidos.

Tabela 2.13 – Quantidade de lodo recomendada a ser usada no solo nos Estados Unidos.

Tipo de cultura	m^3 de lodo
	1000 m^2 de solo
Pomares	2,1
Gramados	1,8 a 3,8
Arbustos, flores e verduras	3,8 a 11,4

Fonte: GAMA *et al.*, 1993

Segundo ILHENFELD, ANDREOLI e LARA (1999) o solo não é um meio propício para a maioria dos organismos existentes no lodo, em decorrência da existência de intensa atividade microbiológica, de seres bastante adaptados ao meio. Por esta razão, a maioria dos patógenos apresentam um curto período de sobrevivência no solo, após a incorporação do lodo. Os ovos de helmintos são exceção a esta regra, por possuírem no seu ciclo biológico normal, uma fase de sobrevivência no solo e portanto devem ser o alvo principal das preocupações. A Tabela 2.14 apresenta os tempos de sobrevivência dos diferentes agentes patogênicos presentes no lodo.

Tabela 2.14 – Tempo máximo de sobrevivência de agentes patogênicos do lodo no solo.

Agentes patogênicos	Solo	
	Máximo absoluto	Máximo comum
Bactéria	1 ano	2 meses
Vírus	1 ano	3 meses
Cistos de protozoários	10 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos

Fonte: KOWAL, EPA/600 1 – 85/015 citado por ILHENFELD, ANDREOLI e LARA (1999).

As restrições de uso referem-se principalmente: à definição de um período de carência entre a incorporação do lodo no solo e a sua utilização agrícola; a proibição do plantio de culturas em que a parte comestível tem contato direto com o solo, como a olericultura, os tubérculos etc; e a observância de distâncias adequadas entre as áreas de aplicação de lodo a regiões densamente povoadas e os corpos d'água. Conforme a eficiência do sistema de higienização selecionado, não há necessidade prática de nenhum tipo de restrição (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

Algumas precauções são necessárias quando se planeja o aproveitamento agrícola dos lodos de esgotos, para prevenir a eventual difusão de moléstias infecciosas ou parasitárias e evitar a poluição dos lençóis subterrâneos e das águas superficiais, sendo as mais importantes as seguintes (LIMA, 1996):

- i) Aplicação apenas em terrenos planos, permeáveis, afastados de pelo menos 60 m de cursos d'água superficiais e 300 m de poços destinados ao abastecimento d'água; a profundidade do solo, em relação a formações impermeáveis e ao nível superior do lençol freático deve ser superior a 1,20 m.
- ii) Retenção dos lodos em lagoas apropriadas, por longos períodos antes de sua aplicação. Um período de retenção de 30 dias assegura a eliminação de 99% dos coliformes fecais, mas tendo em vista a eliminação dos vírus, recomendam-se períodos de vários meses. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (UESPA) cita que para se obter 99% de redução de bactérias e vírus nos lodos, o período de retenção necessário é de 20 a 41 dias quando a temperatura é de 20°C e de 6 a 28 dias se a temperatura se eleva a 28°C.
- iii) A não aplicação dos lodos na fertilização de campos de cultura de hortaliças ingeridas cruas.
- iv) Para o emprego em campos de cultura de hortaliças, torna-se necessária a prévia desinfecção dos lodos. Em países como a Alemanha e a Suíça, vem sendo empregada a pasteurização para esse fim. Na Alemanha está sendo também preconizada a utilização dos raios gama, bem como os feixes de elétrons acelerados. Este último consiste na passagem de uma delgada camada de lodo em um dispositivo que tem por função formar, acelerar e focalizar, um feixe de elétrons de baixa energia.
- v) Restrições à coleta, pela rede de esgotos sanitários, de resíduos industriais com teores elevados de metais pesados tóxicos e que possam esterilizar os solos agrícolas ou entrar na cadeia alimentar dos animais ou homem. Os mais prejudiciais a esse são o zinco, o cobre, o níquel, o cromo, o cádmio, o mercúrio e o chumbo.

EDEN *et al.* (1981) afirmam que alguns lodos, além de conter organismos patogênicos para o homem e animais, podem conter materiais tóxicos descartados dos esgotos industriais. A utilização de lodo como fertilizante deve, por isso, ser efetuada com alguma reserva.

d) Metais Pesados

São definidos como metais pesados os elementos químicos que possuem densidade maior que $5,0 \text{ g.cm}^{-3}$. Os metais pesados encontrados no lodo de esgoto são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Fe, Mn, Mo, Sn, Sb, Se e Zn. Dentre eles são considerados essenciais aos organismos vivos (As, Co, Cr, Se e Zn), às plantas (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), às bactérias fixadoras de nitrogênio (Co) e aos animais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (MIYAZAWA *et al.*, 1999; BERTON, 2000).

Um dos grandes problemas do lodo é a variação de suas características devido à presença de substâncias tóxicas, compostos químicos orgânicos e metais, que em geral está associada à presença de despejos industriais no esgoto (NICOLL, 1989; SANTOS e TSUTIYA, 1997). Segundo FERREIRA, ANDREOLI e LARA (1999), os metais pesados no lodo podem ter três origens:

- i) rejeitos domésticos: canalizações, fezes e águas residuárias de lavagem que contenha alguns metais
- ii) águas pluviais: as águas de escoamento em superfícies metálicas ou das ruas carregam resíduos de metais dispersos na fumaça de veículos
- iii) efluentes industriais: são as principais fontes de metais no esgoto, contribuindo com certos tipos específicos de cátions de acordo com a atividade da indústria

Adicionalmente, o lodo das estações de tratamento de efluente doméstico contém pequena quantidade de metais pesados provenientes da própria natureza dos resíduos e das canalizações. Na estação de tratamento, valores além dos níveis naturais podem ocorrer quando há ligações clandestinas na rede de esgoto de laboratórios fotográficos, fábricas de baterias, tintas, cromagens, entre outras (FERREIRA, ANDREOLI e LARA, 1999).

No esgoto sanitário predominante de origem doméstica, porém com alguma parcela de despejos industriais, encontra-se usualmente pequena quantidade de metais pesados, principalmente Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni e Zn (SANTOS e TSUTIYA, 1997).

Estes metais são tóxicos aos peixes e onde existe legislação pertinente o limite máximo é de $0,5 \text{ mg/L}$ na concentração total presente no efluente (ÉDEN *et al.*, 1981). No lodo de origem industrial, os metais pesados que oferecem perigo são o Cu, Mo, Zn, Ni e Cd.

Os metais presentes no lodo têm a sua disponibilidade influenciada por reações como adsorção, complexação, precipitação, oxidação e redução (FERREIRA, ANDREOLI e LARA, 1999).

Os metais pesados como: Ba, Pb, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn e outros presentes no lodo sofrem várias reações químicas no solo. As principais são (MIYAZAWA et al., 1996):

- i) adsorção na superfície da argila
- ii) complexação e com ácidos húmicos, flúvicos, ligantes orgânicos e inorgânicos
- iii) precipitação como – carbonatos, hidróxidos, óxidos, sulfetos, etc.
- d) oxidação e redução

O equilíbrio químico destas reações define a disponibilidade e toxidez para as plantas, solubilidade e lixiviação de um metal do solo (MIYAZAWA et al., 1996).

Os metais pesados em grandes concentrações são componentes perigosos, pois inibem o tratamento biológico e são tóxicos às plantas, aos animais e ao homem, contaminam os produtos dos solos agricultáveis, e o solo de áreas de aterro, por lixiviação. Em baixas concentrações, entretanto, a presença dessas substâncias, ou elementos, pode ser favorável, como micronutrientes no solo (JORDÃO e PESSOA, 1995; SANTOS e TSUTIYA, 1997).

No tratamento aeróbio, os metais como o Cr podem ter efeito adverso, particularmente na fase de nitrificação. O processo de digestão anaeróbia, por sua vez, está sujeito a inibições ou envenenamento por metais, como Zn e Cd. O conteúdo de metal pode ser um fator limitante no lodo destinado a uso na agricultura ou horticultura, pois sabe-se que várias plantas são sensíveis à presença de metais, como zinco ou níquel, no solo (EDEN *et al.*, 1981).

Antes de se utilizar lodo urbano para fins agrícolas é sempre necessário verificar se o mesmo não contém substâncias provenientes da indústria metalúrgica, pois o solo pode se tornar tóxico às plantas (IMHOFF e IMHOFF, 1986). Os metais podem entrar na composição das folhas, raízes e frutos das plantas, entrando assim na cadeia alimentar dos animais e do homem; como a tolerância a esses elementos na alimentação é muito reduzida, a sua concentração nos vegetais não pode ser elevada. Em face a essas considerações, a aplicação do lodo em solos agrícolas deve ser mantida dentro de certos limites, variáveis de acordo com as características dos solos, do clima, da vegetação e dos métodos de cultura (LIMA, 1996).

Segundo LIMA (1996), a presença do Ca, do Mg e de alguns micronutrientes minerais já foi demonstrada nos lodos como necessária ao crescimento das plantas quando utilizados como adubos. Sabe-se que muitas plantas não se desenvolvem completamente quando o solo não dispõe de pequenas quantidades de B, Cr, Zn e Mn. Sob esse aspecto, portanto, o valor dos lodos de esgotos é inestimável.

Na Alemanha Federal existe uma regulamentação sanitária referente ao uso agrícola do lodo sobre seu teor médio de metais pesados e valor como fertilizante. Desde 1983, a Lei Federal Alemã traz limitações para a aplicação de lodo na agricultura, sendo permitida só quando os valores da Tabela 2.15 não são ultrapassados, tanto no lodo quanto no solo agricultável. Além disso, a quantidade admissível de lodo aplicado é de no máximo 5 toneladas de matéria seca por hectare, com intervalos de três anos (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

Tabela 2.15 - Valores limites de metais(mg de metal pesado/kg matéria seca) no solo e no lodo dos esgotos para o uso agrícola, na Alemanha Federal.

Metal	Lodo	Solo
Cádmio	20	3
Chumbo	1200	100
Cobre	1200	100
Cromo	1200	100
Mercúrio	25	2
Níquel	200	50
Zinco	3000	300

Fonte: IMHOFF e IMHOFF, 1986

FERREIRA, ANDREOLI e LARA (1999) citam que em muitos países, e mesmo no Brasil, a presença de metais pesados no lodo é um dos entraves mais fortes na reciclagem agrícola. As legislações internacionais recomendam manter o pH alcalino ou neutro para diminuir a mobilidade de metais do lodo ao solo e do solo às plantas. Já a Comunidade Européia utiliza o pH do solo para a determinação dos valores limites de metais pesados (pH de 6 a 7). A Tabela 2.16 mostra a concentração máxima permitida de metais em solos cultivados tratados com lodo de esgoto em diversos países.

Tabela 2.16 - Concentração máxima permitida de metais (mg/kg) em solos cultivados tratados com lodo de esgoto

País	Ano	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Comunidade Européia	1986	1-3	50-140	100-150	30-75	50-300	150-300	1-1.5
França	1988	2	100	150	50	100	300	1
Alemanha	1992	1.5	60	100	50	100	200	1
Itália	1990	3	100	150	50	100	200	1
Espanha		1	50	100	30	50	150	1
Reino Unido	1989	3	135	400	75	300	300	1
Dinamarca	1990	0.5	40	30	15	40	100	0.5
Finlândia	1995	1	100	200	60	60	150	0.2
Noruega		0.5	50	100	30	50	150	1
Suécia		0.5	40	30	15	40	100	0.5
Estados Unidos	1993	20	750	1500	210	150	1400	8
Nova Zelândia	1984	3.5	140	600	35	300	300	1
	1992	3	140	600	35	550	280	1
Canadá (Ontário)	-	1.6	100	120	32	60	220	0.5
Canadá (Quebec)	-	2	-	-	18	50	185	0.5

Fonte: McGRATH *et al.* (1994) citado por FERREIRA, ANDREOLI e LARA, 1999.

A Tabela 2.17 apresenta as concentrações máximas de metais pesados preconizado pelas diretrizes da Espanha.

Tabela 2.17 – Concentração máxima de metais pesados (mg/kg matéria seca) admissíveis no solo e no lodo para a reciclagem agrícola na Espanha.

Elemento	Valores limites nos solos		Valores limites nos lodos	
	pH < 7	pH > 7	pH < 7	pH > 7
Cádmio	1	3	20	40
Cobre	50	210	1000	1750
Níquel	30	112	300	400
Chumbo	50	300	750	1200
Zinco	150	450	2500	4000
Mercúrio	1	1,5	16	25
Cromo	100	150	1000	1500

Fonte: ANDREOLI *et al.* (1997a)

A Tabela 2.18 mostra a concentração de metais pesados em lodos de esgotos utilizados na agricultura segundo os padrões estabelecidos nos EUA e na Europa.

Tabela 2.18 – Concentração de metais pesados em bio sólidos utilizados na agricultura nos EUA e na Europa

Metais	EUA - UESPA Part 503		Europa - Diretiva 86/278/EEC		(*) Africa do Sul - Diretrizes A11/2/5/4
	Conc. Máxima (mg/kg MS)	Qualidade excepcional (mg/kg MS)	Recomendado (mg/kg MS)	Obrigatório (mg/kg MS)	Limite em 1997 (mg/kg MS)
Arsênio	75	41	-	-	15
Cádmio	85	39	20	40	15,5
Chumbo	840	300	750	1200	50,5
Cobre	4300	1500	1000	1750	50,5
Cromo total	3000	1200	-	-	1750
Mercúrio	57	17	16	25	10
Molibdênio	75	18	-	-	25
Níquel	420	420	300	400	200
Selênio	100	36	-	-	15
Zinco	7500	2800	2500	4000	353,5
Cobalto	-	-	-	-	100
Boro	-	-	-	-	80
Flúor	-	-	-	-	400

Fonte: HALL (1998) citado por GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI (1999); (*) SNYMAN, TERBLANCHE e VAN DER WESTHUIZEN (2000).

A Tabela 2.19 mostra a concentração máxima permitida de metais pesados em resíduos sólidos e bio sólidos em legislações brasileira.

Tabela 2.19 – Concentração de metais pesados em biossólidos (p/ reciclagem agrícola) e lixiviados dos resíduos sólidos de classe II (p/ aterro sanitário) utilizados no Brasil.

Metais	Norma CETESB P 4.230 Conc. Máxima (mg/kg base seca)	SANEPAR teor permitido (mg/kg matéria seca)	* Padrão da NBR 10.004 (mg massa bruta/ kg base úmida)
Antimônio	-	-	500
Arsênio	75	-	500
Bário	-	-	10.000
Berílio	-	-	75
Cádmio	85	20	100
Chumbo	840	750	1.000
Cobalto	-	-	8.000
Cobre	4.300	1.000	2.500
Cromo total	-	1.000	2.500
Fluoreto	-	-	18.000
Mercúrio	57	16	20
Molibdênio	75	-	3.500
Níquel	420	300	2.000
Prata	-	-	500
Selênio	100	-	100
Vanádio	-	-	2.400
Zinco	7.500	2.500	5.000

Fonte: Adaptado de * SANTOS e TSUTIYA (1997); ANDREOLI et al. (1997b)

Segundo ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI (1999), no Estado do Paraná as redes coletoras de esgotos coletam apenas esgotos domésticos; isso pode ser observado pelos baixíssimos níveis de metais pesados nos lodos de esgotos (Tabela 2.20). Exceções podem ocorrer na Região Metropolitana de Curitiba ou nas principais cidades do estado, quando ocorrem descargas de efluente não doméstico na rede.

Tabela 2.20 – Média dos teores de metais pesados (mg/kg em relação ao peso seco) em lodo da ETE Belém e em RALF no Paraná

Lodo	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Aeróbio	Nd	439	178	73	123	824	1,0
Anaeróbio	Nd	89	58	40	64	456	0,5

Nd: não detectado

Fonte: SANEPAR (1997) citado por ANDREOLI et al. (1997a)

Os metais pesados não têm apresentado níveis significativos no lodo de esgoto do estado do Paraná, sendo expressivamente inferior aos níveis presentes nos lodos gerados em outras regiões do mundo (Tabela 2.21), em outros dejetos comumente utilizados na agricultura, como de suínos e aves (Tabela 2.22), ou até mesmo em relação aos teores destes elementos nos principais solos do Paraná (Tabela 2.23) (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999).

Tabela 2.21 – Concentração média de metais pesados (mg/kg) em lodo de esgoto em diversos países.

Metal	EUA	Reino Unido	Suécia	Canadá	Nova Zelândia	Variação Mundial
Cádmio	104	< 200	13	38	4,5	< 1 – 3410
Cromo	1441	980	872	1960	850	8 – 40600
Cobre	1346	970	791	1600	720	50 – 8000
Mercúrio	8,6	-	6	-	-	0,1 – 55
Níquel	235	510	121	380	350	6 – 5300
Chumbo	1832	820	281	1700	610	29 – 3600
Zinco	2132	4100	2055	6140	700	91 - 4900

Fonte: ALLOWAY (1990); MALAVOLTA (1994) citado por FERNANDES *et al.* (1996)

Tabela 2.22 - Teores de metais pesados (mg/kg) de alguns resíduos orgânicos coletados no Estado do Paraná.

Material	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Lodo Aeróbio	Nd – 12	34 – 520	13 - 299	Nd - 150	Nd - 200	114 - 1350	Nd – 4,4
Lodo Anaeróbio	-	71 – 146	24 -71	36 - 45	60 - 88	415 - 862	Nd – 4,5
Norma da SANEPAR	20	1000	1000	300	750	2500	16
Esterco de bovinos	0,11	27,5	90,2	3,5	11,1	220	
Esterco de suíno	0,58	19,3	230,0	4,0	19,6	1670	
Esterco de aves	0,33	15,9	72,8	2,6	5,9	151	
Húmus	0,0	7,2	18,6	0,7	5,0	16	
Húmus de minhoca	0,0	42,6	246,0	7,9	33,9	266	
Composto de esterco de bovinos	0,1	27,5	90,2	3,5	11,1	220	
Composto de resíduo	0,0	164,0	100,0	67,4	13,7	259	
Lixo urbano	0,71	23,3	66,1	3,8	10,6	427	

Nd: não detectado

Fonte: ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI (1999)

No estado do Paraná foram adotados os valores limites de concentração de metais pesados em solos (mg/kg matéria seca) para a incorporação do lodo, conforme Tabela 2.24 (LARA, 1999).

Tabela 2.24 – Concentração dos valores limites de metais pesados em solo.

Parâmetro	Valor limite no solo
Cádmio – Cd	1,0
Cobre – Cu	50,0
Níquel – Ni	30,0
Chumbo – Pb	50,0
Zinco – Zn	150,0
Mercúrio – Hg	1,0
Cromo - Cr	100,0

Fonte: LARA (1999)

A Tabela 2.25 apresenta as concentrações de metais pesados (mg/kg) nas lagoas no estado do Espírito Santo e em outros sistemas de tratamento.

Tabela 2.23 - Teores de metais pesados (mg/kg) em algumas fontes potenciais de contaminação do solo.

Material	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Referências
Lodo de esgoto (USA)	2 - 1100	-	-	84 - 10 400	12 - 2 800	800 - 26 000	72 - 16 400	TILLER (1989)
Lodo de esgoto (Paraná)	<2,5	14	125	401	81	268	1 340	MIYAZAWA et al. (1996)
Solo de terra roxa estruturada, Paraná	<2,8	45	140	250	58	52	129	SOUZA et al. (1982)
Estерco suíno	-	-	-	463	-	-	1 130	OLIVEIRA (1982)
Fertilizante fosfatado	0,1 - 170	1 - 12	66 - 245	1 - 300	7 - 38	7 - 225	50 - 1 450	ALLOWAY (1993)
Calcário	0,04 - 0,1	0,4 - 3	10 - 15	2 - 125	10 - 20	20 - 1250	10 - 450	ALLOWAY (1993)

Fonte: MIYAZAWA et al. (1999)

Tabela 2.25 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nas lagoas do estado do Espírito Santo comparados com outros sistemas.

Lodo	Cu	Co	Cr	Ni	Cd	Pb	Hg	Mn	Zn	Fe
Lagoa anaeróbia (ETE V. Nova, ES)	91	14	73	40	2	86	-	232	470	44,0
Lagoa aeróbia (ETE Valparaíso, ES)	190	6	63	30	2	95	2,5	118	1512	21,7
Lagoa facultativa (ETE Mata Serra, ES)	111	9	50	32	2	100	1,8	129	710	38,5
Lagoa anaeróbia (ETE Eldorado, ES)	95	8	44	25	3	80	1,5	118	632	34,0
Lagoa aeróbia (ETE, Paraná)	401	-	125	81	<2,5	268	-	-	1340	-
Lagoa anaeróbia (ETE, Paraná)	299	-	190	94	<2,5	343	-	-	1070	-
Lagoa aeróbia (ETE, Paraná)	439	-	178	73	-	123	1,0	-	824	-
Lagoa anaeróbia (ETE, Paraná)	89	-	58	40	-	64	0,5	-	456	-
Lagoa aeróbia (ETE Barueri, SP)	917	-	670	364	21	200	2,6	-	1876	-
Lagoa aeróbia (ETE Suzano, SP)	811	-	2495	212	603	352	24,6	-	1880	-

Fonte: GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI (1999).

Cabe uma legislação específica estabelecer critérios rigorosos para aceitação da reciclagem agrícola do lodo e aos órgãos ambientais fiscalizar seu cumprimento. Sempre que os lodos apresentarem níveis elevados de metais pesados, a reciclagem será inviável e outras opções de disposições finais, mais onerosas e ambientalmente menos adequadas, deverão ser adotadas (ILHENFELD, PEGONINI e ANDREOLI, 1999).

Os processos de remoção de metais do lodo gerado são caros, complexos e poucos eficientes; por esta razão, este é um problema a ser solucionado previamente através da identificação das fontes geradoras destes materiais e do seu isolamento da rede pública de esgoto, associado a uma política bastante restritiva de recebimento de esgotos industriais em redes, capaz de garantir a qualidade do lodo produzido (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

Inúmeras substâncias presentes nos esgotos industriais (principalmente metais e solventes clorados) e domésticos (detergentes do tipo sulfonados de alquibenzeno) (Figura 2.8) causam grande preocupação nas estações de tratamento, pois podem envenenar o processo de digestão que é microbiológico. Estes detergentes se adsorvem nas partículas do lodo que se sedimentam nos tanques (EDEN *et al.*, 1981).



Figura 2.8 – Caixa de passagem do efluente do reator UASB para a lagoa de polimento da ETE Mangueira (A) e tubulação de saída do efluente da ETE Vila São João no rio Capibaribe (B).

2.6. ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ETEs

As técnicas para o processamento do lodo dependem do tipo, capacidade, localização da estação de tratamento, operações unitárias empregadas e o método para disposição final dos sólidos (Tabela 2.26). O sistema selecionado deve ser capaz de receber o lodo produzido convertendo-o num produto ecologicamente e economicamente aceitável para disposição (HAMMER, 1979).

Os processos de tratamento de lodo visam à redução (i) do volume, (ii) do teor de água no lodo, (iii) do teor de material orgânico biodegradável (estabilização) e (iv) dos organismos patogênicos (desinfecção pela inativação), para que se obtenha um material sólido estável e que não constitua um perigo para a saúde (LEWIS JONES e WINKLER, 1991; VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

Os principais conjuntos de operações específicas, etapas do tratamento e os respectivos objetivos podem incluir a seguinte seqüência, no todo ou em parte (HAMMER, 1979; METCALF e EDDY, 1991; IMHOFF e IMHOFF, 1986; NERDER e PINTO, 1991; VON SPERLING, 1995):

- i) Preparação: gradeamento, trituração, desarenação, mistura, reservação (decantadores primário, tanque de acumulação)
- ii) Adensamento: remoção de umidade (redução de volume) por gravidade, por flotação com ar dissolvido, centrifugação, filtro de esteira, filtros de vácuo, filtros prensa, centrifugação, compostagem.
- iii) Estabilização: remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis) biologicamente (por digestão anaeróbia, aeróbia ou mesmo por variantes que incluem a combinação dos dois processos), oxidação química, tratamento térmico, compostagem, aeração prolongada, incineração, lagoa de lodo, secagem ao ar livre.
- iv) Condicionamento: aumento da densidade do lodo adensado e remoção de sólidos em suspensão utilizando produtos químicos conhecidos como agentes coagulantes e/ou tratamento térmico (aplicação de calor ou frio) preparando para a desidratação principalmente mecânica. Os principais coagulantes utilizados são coagulantes metálicos inorgânicos (sulfato

de alumínio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto férrico e cal virgem hidratada), agentes floculadores orgânicos e polieletrólitos (iônicos, catiônicos ou não iônicos).

v) Desidratação: remoção de umidade (redução de volume) em leitos de secagem, lagoa de lodo, equipamentos mecanizados (filtro prensa, filtros a vácuo, filtro de esteira, centrífuga), secagem térmica.

vi) Redução térmica: incineração (incineradores tipo *multiple hearth* e de leito fluidizado), co-incineração com resíduos sólidos (lixo), oxidação úmida.

vii) Transporte: caminhão, canalização, navio lameiro

viii) Disposição parcial: incineração, oxidação úmida, reuso na indústria da construção civil

ix) Disposição final: destinação final dos subprodutos em aterros sanitário controlados, compostagem ou co-compostagem com o lixo urbano, aplicação no solo para fins agrícolas na forma líquida ou sólida, recuperação de áreas (espalhamento no solo), lançamento submarino.

As alternativas mais usuais para o aproveitamento e/ou disposição final do lodo de esgotos têm sido as seguintes, em países do primeiro mundo (SANTOS e TSUTIYA, 1997):

i) Usos agrícolas

- š` Aplicação direta no solo;
- š` Aplicação em áreas de reflorestamento;
- š` Produção de composto ou fertilizante organo-mineral;
- š` Solo sintético para agricultura;
- š` Aplicação da torta de lodo pré-condicionada com calcário;
- š` Secagem térmica e
- š` Compostagem.

ii) Disposição em aterros sanitários

- š` Aterros exclusivos;
- š` Co-disposição com lixo urbano.

iii) Reuso industrial

- š` Produção de agregados leve para construção civil;
- š` Fabricação de tijolos e cerâmicas.

iv) Incineração

v) Restauração de terras

š Controle de voçorocas.

vi) Conversão do lodo em óleo combustível.

As alternativas mais desejáveis são a reciclagem e o retorno do lodo possibilitando a sua utilização na agricultura, como fertilizante e recompositor da camada superficial de solo. Isto depende do tipo de cultura utilizada, mas geralmente é necessária uma etapa adicional no tratamento do lodo; a higienização, tem como principal função a remoção dos organismos patogênicos (transmissores de doenças).

Tabela 2.26 - Processamento do lodo nos principais sistemas de tratamento de esgotos

Sistemas de tratamento	Frequência de remoção	Processamento usual do lodo			
		Adensamento	digestão	Desidratação	Disposição final
Decantadores primários convencionais	algumas vezes por dia	X	X	X	X
Fossas sépticas	uma vez a cada 6-12 meses	X	X	X	X
Lagoa facultativa	> 20 anos				
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	> 20 anos				
Lagoa aerada facultativa	> 10 anos				
Lagoa aerada mistura completa - lagoa decantação	< 5 anos				X
Lodos ativados convencional	~ contínua	X	X	X	X
Lodos ativados (aeração prolongada)	~ contínua	X		X	X
Lodos ativados (fluxo intermitente)	~ contínua	X		X	X
Filtro biológico (baixa carga)	~ contínua	X		X	X
Filtro biológico (alta carga)	~ contínua	X	X	X	X
Biodiscos	~ contínua	X		X	X
Reator anaeróbio de manta de lodo	variável			X	X
Fossa séptica - filtro anaeróbio	variável			X	X
Infiltração lenta	-				
Infiltração rápida	-				
Infiltração subsuperficial	-				
Escoamento superficial	-				

Fonte: VON SPERLING (1995).

O tratamento do lodo pode ser facilitado quando, em uma primeira etapa, se separa o máximo possível de água através do adensamento do mesmo. Em uma etapa seguinte, comumente se estabiliza a matéria orgânica através de aeração durante um grande espaço de

tempo ou digestão anaeróbia. Em seguida, procede-se à desidratação, compostagem, secagem ou incineração. Em alguns poucos casos também o lodo bruto é desidratado artificialmente, sendo depois submetido à compostagem e à incineração (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

LIMA (1996) relata que quando se impõe o processo de depuração por filtro biológico, lodos ativados ou suas variantes, o problema do manuseio, tratamento e destino final do lodo assume aspecto mais importante, constituindo um problema de mais difícil solução do que propriamente a depuração e destinação da porção líquida dos esgotos. Por isso, não pode ser deixada à parte a consideração do volume de lodo produzido, nos casos em que o destino final deste último não é fácil, o que sempre acontece nas grandes concentrações urbanas. Em tais casos, 25 a 50% do custo da depuração diz respeito ao tratamento e destino final dos lodos.

Nas estações de filtração biológica o lodo retirado do decantador pode ser concentrado por gravidade, embora isto não seja comum, pois o teor de sólidos atinge, em média, 5%, o que dispensa o adensamento. A digestão anaeróbia é um método muito empregado para a estabilização do lodo bruto. O lodo digerido pode ser aplicado no solo ou pode ser seco em leito de secagem, dos quais os sólidos são, posteriormente removidos para aterros. Nas grandes instalações, os sólidos brutos são levados por caminhões para aterros, após o tratamento químico e desidratação mecânica (VON SPERLING, 1995).

Na estação de tratamento de filtração biológica do município de Olinda no bairro de Peixinhos, o tratamento do lodo é feito em quatro etapas: adensamento por gravidade, estabilização por digestão anaeróbia, desidratação em leitos de secagem e disposição final no solo para fins agrícolas na forma sólida e/ou aterros sanitário controlados.

O lodo gerado no processo de lodos ativados geralmente necessita de tratamento complementar, visando sua estabilização e destinação final. O processo de tratamento do lodo pode envolver até cinco fases, cada uma com um fim específico, incluindo adensamento, a digestão, o condicionamento, a desidratação e a esterilização (NEDER e PINTO, 1991). Segundo HAMMER (1979), nas estações de lodos ativados mistura-se os dois tipos de lodo num tanque separado e o adensamento deste ocorre antes do seu processamento, mas pode-se adensá-los separadamente por flotação, ou por separação da mistura por gravidade.

Na estação de tratamento de lodos ativados com aeração prolongada do município de Paulista no bairro do Janga, o tratamento do lodo é feito em três etapas: estabilização por digestão aeróbia, desidratação em lagoa de lodo e disposição final no solo para fins agrícolas na forma sólida e/ou aterros sanitário controlados.

Nas lagoas facultativas ou anaeróbias, o lodo se deposita no fundo dos tanques (permanecendo retido no sistema), ao longo do tempo sofre várias transformações por via anaeróbia com formação de líquidos e gases, restando finalmente apenas um resíduo sólido estável de pequeno volume. Somente após vários anos de operação do sistema, torna-se necessária à remoção de tal resíduo sólido podendo ser aplicado em campos agrícolas ou parques (LIMA, 1996).

O custo das unidades para estabilização, desidratação e disposição do lodo representa cerca de um terço do investimento total numa estação de tratamento. O custo operacional das unidades de tratamento do lodo pode ser maior que o da fase líquida, dependendo do sistema empregado. Por essas razões, é essencial que se tenha um sistema de disposição de lodo bem projetado e operado (HAMMER, 1979).

Os custos de disposição do lodo crescem com o número de fases do processo. Comparando o uso do lodo úmido na agricultura, a desidratação com aterro sanitário e a desidratação-incineração-disposição das cinzas, a relação entre os custos será de aproximadamente 1:2:4. Por este motivo é conveniente, na maior parte dos casos, eleger o uso agrícola ou o aterro do lodo desidratado (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

A descrição dos principais processos de tratamento e disposição final do lodo produzido no tratamento dos esgotos é apresentada a seguir.

2.6.1. Calagem

A calagem do lodo é um processo de estabilização e desinfecção química, a mais eficiente para a eliminação dos patógenos, atuando na estabilização e na desodorização do mesmo (EPA, 1984 citado por PASSAMANI e GONÇALVES, 2000).

A utilização da cal, virgem (CaO) ou hidratada (Ca(OH)_2), como um processo para redução de microorganismo patogênicos vem sendo utilizada a milhares de anos e tem comprovada eficiência nesta remoção no lodo (PASSAMANI e GONÇALVES, 2000).

A calagem consiste na adição e mistura de cal virgem (de construção) ao lodo em proporções que variam de 30 a 50% do peso seco do lodo, para alcalinização brusca do meio, elevando o pH em níveis ligeiramente superiores a 12, o que torna o meio impróprio à sobrevivência e desenvolvimento dos patógenos presentes no lodo (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999; EPA, 1984 citado por PASSAMANI e GONÇALVES, 2000).

As reações envolvidas no processo de calagem vão desde a neutralização dos ácidos, à precipitação de elementos indesejáveis sob a forma de sais insolúveis (GONÇALVES, 1998 citado por PASSAMANI e GONÇALVES, 2000).

No processo de desinfecção três fatores intervêm: inicialmente a alteração da temperatura, a mudança do pH da massa resultante (mistura de lodo e cal) e finalmente a ação da amônia que será formada a partir do nitrogênio do lodo em condições de temperatura e pH elevados (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

A cal em contato com a água contida no lodo resulta em uma reação exotérmica (gera calor). A temperatura se eleva durante alguns dias, até a mistura estabilizar-se. Este efeito é dependente da qualidade e da proporção da cal utilizado em relação a quantidade de lodo. Se o processamento da cal (CaO) não for bem executado, parte do produto passará para a forma de calcário (CaCO₃), que tem uma velocidade de reação bem mais lenta (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

Um dos fatores de desinfecção é a elevação do pH da mistura. Os organismos patogênicos expostos a níveis extremos de pH, seja ácido ou alcalino, tendem a ser destruídos. Da mesma forma que a ação da temperatura, as alterações mais intensas do pH demandam um menor tempo de contato, para a obtenção da eficaz higienização do material. A adição de cal virgem na proporção de 50% do peso seco do lodo eleva o pH da massa de lodo calado para níveis acima de 12, resultando na destruição dos principais agentes patogênicos, incluindo larvas e ovos de helmintos, desde que o tempo de ação seja adequado. Recomenda-se um prazo de 60 dias de armazenagem após a mistura. A calagem reduz a concentração de ovos de helmintos, desde que respeitados os períodos de carência e é eficiente na estabilização acelerada do lodo, eliminando os maus odores (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

Outra razão da desinfecção é o contato da amônia produzida a partir do nitrogênio do lodo, que apresenta maior eficácia quanto maior o tempo de exposição dos agentes patogênicos. Por isso, sempre que possível as pilhas de armazenagem do lodo devem ser cobertas com lonas plásticas, reduzindo as perdas e aumentando a eficiência da desinfecção por ampliar o tempo de exposição dos patógenos a ação da amônia. Esta cobertura também evita a exposição do lodo às precipitações atmosféricas e pode atenuar os efeitos de exalação de maus odores, comuns em lodos que não estejam devidamente estabilizados (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

Uma das desvantagens da higienização com cal, comparada com outros processos, é que há um incremento na massa do lodo ao final do tratamento, devido à adição da cal (LUEHING et al., 1992 citado por PASSAMANI e GONÇALVES, 2000). Outros aspectos negativos da calagem são perda de nitrogênio por volatilização de NH_3 , desprendimento de odores e limitações do lodo como insumo agrícola no caso de solos com pH elevado devido ao elevado pH do produto final (GONÇALVES e LUDUVICE, 2000). Além destes fatores, ocorre ainda aumento nos custos de disposição final, devido, principalmente, ao transporte deste material por agregarem massa ou volume ao lodo a ser descartado (GONÇALVES e LUDUVICE, 2000; PASSAMANI e GONÇALVES, 2000).

Os lodos que não apresentam os requisitos de uma boa estabilidade após a calagem, há possibilidade da formação de maus odores com potencial de atração de vetores. Esses lodos devem sofrer um prévio processo de estabilização ou ter outra forma de disposição final, como aterro sanitário, fazenda de lodo, incineração etc. (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

2.6.2. Compostagem

A compostagem é um processo biológico aeróbio e controlado de decomposição biológica e estabilização da matéria orgânica, em condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termófilas (controlada para não ultrapassarem valores máximos em torno de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante alguns dias ou a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ por três semanas). Como resultante da produção calorífica de origem biológica, obtém-se um produto final estável, higiênico, rico em compostos húmicos e cuja utilização, no solo, não oferece riscos ao meio ambiente (MODESTO FILHO, 1999). Os resíduos estabilizados possuem propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Os microorganismos degradam a matéria orgânica contida no lodo puro ou em mistura com outros resíduos orgânicos picado (palha, serragem, restos de vegetais picados, bagaço de cana, resíduos de jardinagem e podas de jardins, parques e praças, parte orgânica do lixo urbano etc.). Os processos são exotérmicos, aumentando a temperatura das leiras até alcançar a fase termófila, o que promove a eliminação dos organismos patogênicos presentes no lodo, desde que por um período de tempo compatível (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

Durante o processo, alguns componentes da matéria orgânica são utilizados pelos próprios microrganismos para formação de seus tecidos, outros são volatilizados e outros, ainda, são transformados biologicamente em uma substância escura, uniforme, com consistência amanteigada e aspecto de massa amorfa, rica em partículas coloidais, com propriedades físicas e químicas inteiramente diferentes da matéria-prima original. A essa substância dá-se o nome de húmus. Os principais microrganismos responsáveis pelo processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Os microrganismos que participam mais ativamente do processo são os aeróbios e os facultativos, que predominam nas faixas de temperatura de 20 °C a 45 °C, os mesófilos, e de 45 °C a 65 °C, os termófilos; os psicrófilos, ativos a temperaturas entre 10 °C a 25 °C, têm menor importância. Esses microrganismos, exotérmicos, liberam energia na forma de calor; isto explica o aquecimento natural das pilhas/leiras de compostagem e justifica a importância do controle térmico do processo. Com este controle, evita-se que temperaturas muito elevadas, venham a eliminar a massa biológica responsável pela estabilização do material em processamento. À medida que escasseiam os materiais mais facilmente decomponíveis, o processo diminui em intensidade até cessar, retornando às condições ambientais de temperatura, com o material bruto já transformado em húmus (BIDONE e POVINELLI, 1999). A temperatura acima de 60 °C deve ser mantida por um período de, no mínimo de 10 dias (ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

É normalmente realizada em pátios nos quais o material é disposto em montes de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem, ou montes de forma prismática com seção similar à triangular, denominados leiras de compostagem (BIDONE e POVINELLI, 1999).

As diversas fases que caracterizam o processo de compostagem propriamente dito são:

i) Fase 1: de elevação de temperatura até o limite preconizado como ótimo na compostagem, pode levar algumas horas (entre 12 e 24 horas), ou alguns dias, dependendo das condições ambientais na região onde se encontra o pátio de processamento. Atingida a temperatura entre 55°C e 60 °C, introduz-se um fator externo de controle, o revolvimento com ou sem umidificação, ou a aeração mecânica realizada de forma intermitente, conduzindo-se, então, a bioestabilização na faixa de aquecimento adequada.

ii) Fase 2: de degradação ativa do material orgânico; no método convencional *windrow method*, pode demorar entre 60 e 90 dias; quando as leiras são operadas na forma *estáticas aeradas*, o período resulta significativamente menor, da ordem de 30 dias (BIDONE e POVINELLI, 1999).

iii) Fase 3: é aquela em que inicia-se o resfriamento do material e em condições normais leva de 3 a 5 dias.

iv) Fase 4: de maturação ou cura do material compostado, com a formação de ácidos húmicos, leva de 30 a 60 dias.

A compostagem é um processo desenvolvido por uma colônia diversificada de microrganismos. Nesta população, há organismos patogênicos de origem animal e humana. A compostagem elimina esses microrganismos patogênicos (BIDONE e POVINELLI, 1999).

O composto é considerado seguro do ponto de vista sanitário quando apresentar concentrações *Escherichia coli* menores que $1,0 \times 10^2$ NMP/g (BIDONE e POVINELLI, 1999).

O composto obtido a partir da compostagem da parcela orgânica dos resíduos sólidos urbanos, ou lixo domiciliar, pode ser usado com sucesso como condicionador de solos, além de representar fonte de macro e micronutrientes para as plantas em geral. Os principais efeitos decorrentes da aplicação do composto no solo podem ser assim sintetizados (BIDONE e POVINELLI, 1999):

- i) Melhoria da estrutura do solo
- ii) Aumento da capacidade de absorção de água
- iii) Ativação substancial da vida microbiana
- iv) Aumento na disponibilidade de macro e micronutrientes, que imobilizados na matéria orgânica bruta, passam a solúveis na forma estabilizada e, portanto integralmente assimiláveis pelas plantas
- v) Melhora a aeração
- vi) Melhora o aproveitamento dos fertilizantes minerais
- vii) Aumento da estabilidade do pH
- viii) Efeito controlador sobre doenças e pragas de plantas

A compostagem deve prever a hipótese de processamento em codisposição com materiais de origem orgânica, visando à remoção dos materiais que conferem periculosidade, contando com as características adsorptivas e quelantes da massa de húmus ou composto produzido (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A produção de composto a partir do lodo é excelente, inclusive com o lixo urbano. A umidade necessária ao lodo para a formação do composto vem junto com o lixo. O lixo também restabelece na mistura a relação carbono/nitrogênio, de cerca de 30:1, conveniente ao composto, devido ao seu grande teor de matéria carbonácea que falta ao lodo. O carbono é retirado dos resíduos e o nitrogênio é fornecido pelo lodo. O equilíbrio ideal, ou bom estado nutricional do composto, apresenta uma relação C/N entre 20 e 30, ou seja, 20 a 30 unidades de carbono para uma unidade de nitrogênio (IMHOFF e IMHOFF, 1986; ILHENFELD, ANDREOLI e LARA, 1999).

O composto produzido a partir de lodo e que tenha curado durante muito tempo oferece condições sanitárias satisfatórias, exceto no caso da contaminação com germes do carbúnculo (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

2.6.3. Vermicompostagem

A vermicompostagem é um tipo de compostagem na qual se utilizam as minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação, melhorando o arejamento e a drenagem do material em fase de maturação (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Segundo BIDONE e POVINELLI (1999) as minhocas são vermes, daí o processo tomar o nome em inglês de *vermicomposting*, originando em português o neologismo vermicompostagem. Em nosso meio, há os que preferem a denominação de vermicultura; no entanto, essa terminologia deve ser utilizada quando a ênfase é a produção de minhocas para diversos fins e não a produção de vermicomposto.

As minhocas são animais que pertencem ao filo *Annelida*, que são vermes segmentados, compostas por divisões chamadas de metâmeros, muito semelhante a anéis. O número de segmentos varia conforme a espécie e aumenta com a idade da minhoca. Pertencem à classe dos *Oligocheta* (do grego significa *oligo* = poucas e *cheta* = cerdas), pois são providas de pequena quantidade de projeções cutâneas que auxiliam na locomoção e na

fixação em suas galerias subterrâneas (BIDONE e POVINELLI, 1999; MODESTO FILHO, 1999). Essa classe contém cerca de 3100 espécies entre minhocas terrestres e da água doce. As melhores minhocas para a vermicompostagem que são criadas e comercializadas em todo o mundo são três espécies (MODESTO FILHO, 1999):

- i) *Eisenia foetida* - conhecida como Vermelha da Califórnia
- ii) *Eudrillus eugeniae* - conhecida como Gigante Africana
- iii) *Lumbricus rubelus* - conhecida como Minhoca dos Resíduos Orgânicos

A vermicompostagem deve ser entendida como um processo de dois estágios. Primeiro, a matéria orgânica é compostada de acordo com padrões normais, em função da variante de processo utilizado, com redução de microrganismos patogênicos e retorno à temperatura ambiente. Após a estabilização da temperatura, o material compostado é transferido para leitos rasos, para não se aquecer demasiadamente e não se compactar, pois os materiais de granulometria fina têm essa tendência. Faz-se então a inoculação das minhocas e 60 a 90 dias após obtém-se o vermicomposto pronto, com aumento na disponibilidade de macro e micronutrientes e a formação de um húmus mais estável (BIDONE e POVINELLI, 1999).

É possível, então, com base nos aspectos referidos pelo controle de peso ou pela contagem do número absoluto de minhocas e, ainda, em função do grau de estabilização apresentado pelo substrato, estabelecer distintas fases e/ou momentos durante o processamento. Identifica-se uma fase inicial de crescimento exponencial com ativa atuação dos vermes, uma fase de equilíbrio no processamento com relativa estabilidade no número de indivíduos, numa fase de pequena diminuição de minhocas, e uma fase de intenso declínio, quando o material apresentar-se completamente humificado (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Sendo a vermicompostagem um processo necessariamente de dois estágios, subentende-se que o substrato a ser processado deve ter passado por uma prévia compostagem aeróbia. Esse tratamento anterior responde, já em um primeiro momento, pela garantia sanitária do material que será submetido às minhocas, tendo em vista que se desenvolve em uma faixa de temperatura – da ordem de 55 °C, que praticamente erradica do meio aqueles organismos patogênicos, potenciais veiculadores de doenças. Em nível nacional, não tem sido encontrado em vermicomposto produzido a partir de lixo orgânico urbano, ovos, cistos ou

parasitas de organismo humano após o processamento. Do ponto de vista microbiológico, as experiências têm mostrado que as minhocas parecem não interferir, por exemplo, nas populações de coliformes fecais, que dependem e são afetados pelas condicionantes ambientais das próprias leira de vermicompostagem. O vermicomposto produzido a partir da fração orgânica do lixo urbano é seguro do ponto de vista sanitário (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A vermicompostagem deve prever, similarmente à compostagem, a hipótese de processamento em codisposição com materiais de origem orgânica, garantindo aos organismos um substrato mínimo que satisfaça dieta alimentar, ao mesmo tempo em que confira à massa húmica as propriedades adsorvidas e quelantes já referidas (BIDONE e POVINELLI, 1999).

2.6.4. Fazenda de Lodo

Fazenda de lodo (do inglês *landfarming*) é um método de tratamento para resíduos sólidos, em que o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo. É um processo relativamente simples e consiste na mistura do resíduo com a camada de solo existente na zona arável, a qual deve ser revolvida periodicamente. Por ser um processo aberto sem qualquer sistema de impermeabilização inferior ou superior, uma fazenda de lodo mal gerenciada pode trazer problemas imediatos de contaminação de águas superficiais, subterrâneas, do ar e do solo, tornando este último impróprio para usos futuros (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Os principais problemas ambientais estão relacionados ao odor, à presença de vetores, à lixiviação e à conseqüente contaminação do lençol freático com elementos-traço e nutrientes, quando as fazendas estão localizadas próximos a centros urbanos e da necessidade de grande áreas (AISSE et. al., 1999).

É uma alternativa de baixo custo quando bem instala e monitorada. O sistema de tratamento utilizado é o solo, com ou sem incorporação do lodo, para promover a oxidação. O solo passa a ser o suporte da atividade biológica, retenção de metais, local de exposição ao sol e biooxidação, o que provocará a degradação da matéria orgânica. Neste sistema uma área recebe doses elevadas de lodo por vários anos. As doses de aplicação variam de 60 - 70 toneladas por ano por hectare, em base seca, para as áreas que não tem impermeabilização da

camada inferior, e de 300 - 600 toneladas por ano por hectare, quando há impermeabilização da camada de solo a 60 - 80 cm de profundidade. Assim que o lodo é espalhado sobre ao solo ele deve ser incorporado superficialmente para facilitar os processos de biodegradação e minimização do problema de odor e eventual atração a moscas (FERREIRA, ANDREOLI e JÜNGENSEN, 1999b)

Para sua utilização devem ser considerados os seguintes fatores: características do lodo/biosólido para definir a taxa de aplicação, implantação e manuseio da vegetação de cobertura, e controle ambiental (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

2.6.5. Incineração

A incineração é um método de tratamento que utiliza a decomposição térmica via oxidação, torna o resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico (FERREIRA, ANDREOLI e JURGENSEN, 1999b). A incineração também pode ser descrita como uma extensão do processo de secagem que converte os sólidos em cinzas inertes, de fácil disposição (HAMMER, 1979).

A incineração do ponto de vista higiênico constitui o processo ideal, pois elimina totalmente todos os germes e parasitas existentes nos lodos dos esgotos. Contudo, a sua aplicação não é recomendável pelas seguintes razões (LIMA, 1996):

- i) o processo exige equipamento mecânico complexo, altamente sofisticado e de custo elevado
- ii) as cinzas escapadas pelas chaminés da fornalha contribuem para a poluição atmosférica

Na incineração de lodo a principal causa da poluição do ar é a emissão particulada. A incineração também conduz aos problemas com dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e de enxofre. A incineração do lodo deve ocorrer quando estiver bastante desidratado, com teor de sólidos maior do que 30%. Este teor de sólidos permite a incineração sem combustível externo. O lodo, com alto teor de umidade, necessita de combustível suplementar (HAMMER, 1979; LEWIS - JONES e WINKLER, 1991).

Devido ao seu poder calorífico é preferível incinerar o lodo bruto do que o digerido. A incineração do lodo em estado fresco seco, pode-se fazer economia no tamanho dos digestores (HAMMER, 1979; IMHOFF e IMHOFF, 1986).

2.6.6. Recuperação de Áreas Degradadas

Uma área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e fixação de vegetação em função da falta de matéria e dos nutrientes no solo e da atividade biológica, estando esta área sujeita aos processos de erosão e de lixiviação (ANDREOLI e JÜNGENSEN, 1999b).

A aplicação de biossólidos em áreas agrícolas, florestas, áreas degradadas e áreas de mineração, traz benefícios às propriedades físicas do solo, pois ele é um condicionador que melhora a formação de agregados, a infiltração, a retenção da água e a aeração do solo (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

A disposição do lodo de esgoto líquido ou seco no solo é uso comum em inúmeras áreas (minas abandonadas, trincheiras, lagoas e aterros sanitários). Em alguns casos, a terra serve como um solo de vazamento para lodo, enquanto em outros casos o lodo é aplicado no solo e misturado, como fertilizador ou condicionador do solo. A matéria orgânica, tanto quanto o nutriente inorgânico do lodo, é benéfica para o solo (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

2.6.7. Uso na Agricultura e em Florestas

Desde épocas remotas, os dejetos sólidos das populações urbanas têm sido aproveitados na fertilidade dos solos agrícolas. Para alguns países, como a China, a prática de preservação da fertilização do solo assume importância vital, encontrando por isso mesmo, visceralmente ligada à tradição dos agricultores (LIMA, 1996).

Nos últimos anos, em vários países se intensificaram as correntes de opiniões favoráveis à preservação dos recursos naturais e no plano geral de suas proposições se encontra o reconhecimento da necessidade de utilização dos lodos produzidos pelas depuradoras de esgotos na fertilização dos solos (LIMA, 1996). Isto depende do tipo de cultura utilizada, mas geralmente é necessária uma etapa adicional no tratamento do lodo, a higienização, que tem como principal função a remoção dos organismos patogênicos (transmissores de doenças).

SANTOS e TSUTIYA (1997) relatam que as alternativas mais usuais para o aproveitamento e/ou disposição final do lodo de esgotos em países do primeiro mundo quando

o seu uso é para prática agrícola são as seguintes: aplicação direta no solo; aplicação em áreas de reflorestamento; produção de composto ou fertilizante organomineral; solo sintético para agricultura; aplicação da torta de lodo pré-condicionada com calcário; secagem térmica e compostagem.

No Reino Unido, a maioria do lodo é usada como fertilizante orgânico na terra agrícola, requerendo uma boa gerência para evitar o acúmulo dos poluentes no solo (LEWIS JONES e WINKLER, 1991). Na Inglaterra e no País de Gales, cerca de 40% do lodo dos esgotos é reciclado e retorna à terra como fertilizante, 20% são jogados ao mar e o remanescente vai para depósitos em terra. A utilização total do lodo como fertilizante representa apenas 4,5% das necessidades nacionais de nitrogênio e fósforo e menos de 1% das necessidades de potássio. Do mesmo modo, a matéria orgânica representa apenas pequena porcentagem das necessidades nacionais (ÉDEN *et al.*, 1981).

Nos Estados Unidos, a prática do lançamento do lodo de esgotos ao solo vem sendo difundida rapidamente. Dados estatísticos publicados em 1977 mostram os seguintes valores, referentes ao destino dos lodos (LIMA, 1996):

- i) aterros = 25%
- ii) lançamento ao mar = 15%
- iii) incineração = 35%
- iv) aplicação do solo = 25%

Do lodo produzido nas depuradoras americanas, cerca de 50% voltam ao solo, em aterros ou aplicação agrícola; da aplicação agrícola, 40% é feita mediante a simples dispersão do lodo líquido (1 a 3% de sólidos) nas terras agrícolas, nas pastagens e nas florestas.

No Brasil, a reciclagem agrícola do lodo de esgoto supõe critérios seguros para sua implementação, além de fornecer micro e macro nutrientes (N e P) ao solo, que contribui para uma agricultura auto-sustentável. O lodo de esgoto só pode ser usado como insumo agrícola se apresentar níveis abaixo de certos limites de metais pesados, o que coloca em evidência a responsabilidade das indústrias em tratar seus próprios efluentes, sob a pena de inviabilizar a reciclagem agrícola do lodo. Além disso, o solo e o lodo no Brasil são bastante diferentes dos países desenvolvidos, sendo geralmente ácido, facilitando a mobilidade dos metais pesados. Da mesma forma, o perfil de saúde da nossa população e conseqüentemente o perfil sanitário

são distintos. Os ciclos para reciclagem agrícola do lodo de esgoto são os seguintes: condicionamento e desidratação, desinfecção (por compostagem ou tratamento com cal), controle dos parâmetros biológicos e físico-químicos, acompanhamento agrônômico, monitoramento ambiental e sistema gerencial (FERNANDES, 1997).

Antes de se utilizar lodo urbano para fins agrícolas, é sempre necessário verificar se o mesmo não contém substâncias provenientes da indústria metalúrgica, pois o solo pode-se tornar tóxico às plantas e que o mesmo esteja isento de patogênicos, o que provoca a necessidade da sua esterilização durante o processo de tratamento (IMHOFF e IMHOFF, 1986). Uma grande variedade de cultura tem sido desenvolvida nos solos onde houver aplicação do lodo. As características de crescimento e produção de colheita são comparavelmente favoráveis com as colheitas nos solos fertilizados quimicamente.

É necessário primeiramente resolver se o lodo deve ter aplicação agrícola em estado fresco ou digerido, e/ou líquido ou desidratado (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

O processo mais econômico de disposição final de lodo digerido é a aplicação no solo cultivado em estado líquido, devido à eliminação das fases de condicionamento e secagem do lodo. Esta alternativa de disposição é usada onde áreas aceitáveis são localizadas dentro de certa distância da estação de tratamento. Como vantagem temos que é uma fonte de água para a irrigação do solo e ocorre um acréscimo dos nutrientes (nitrogênio e fósforo) dos esgotos. A desvantagem é o custo adicional devido ao transporte da água integrada ao lodo. O lodo digerido não é perigoso pode ser transportado ao campo em estado líquido, por meio de viaturas-tanques e aplicado em áreas agrícolas, pulverizados por meio de placa de impacto ou por meio de canalizações munidas de aspersores por canalizações. O lodo líquido deverá ser aplicado com taxas que não possibilite a contaminação das águas de subsolo e superfície (rios) (IMHOFF e IMHOFF, 1986; NEDER e PINTO, 1991).

Geralmente, a disposição de lodo digerido no solo cultivado ocorre em estado seco, sendo necessário desidrata-lo em leitos de secagem ou instalações de secagem artificial. Os sólidos no lodo são úteis como condicionantes e fertilizantes do solo. O lodo perde 40% de seu teor de nitrogênio durante a digestão. O nitrogênio albuminóide sofre modificações, sendo que aqueles 40% se dissolvem no líquido sobrenadante sob a forma amoniacal. Em oposição ao que acontece durante a cura do esterco do curral e da fabricação de composto, não há perdas de nitrogênio no digestor quando o líquido sobrenadante também encontra aplicação agrícola.

O emprego de lodo fresco há muitos inconvenientes a serem considerados. Este se aglomera em grumos gordurosos e resistentes, e leva consigo sementes de pragas vegetais ao campo. A secagem do lodo fresco não ocorre sem desprendimento de forte mau cheiro. Quando o lodo encontra aplicação agrícola em estado fresco, deverá esta prática ser regulamentada por normas análogas às exigidas para a utilização de esgotos sanitários, a fim de que seja preservada a saúde dos homens e dos animais. (HAMMER, 1979; IMHOFF e IMHOFF, 1986).

O lodo que não tem aplicação em atividades agrícolas deve ser disposto em aterros, de modo a não produzir danos ao ambiente (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

2.6.8. Disposição em Aterros Sanitários

O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos (normalmente, recobrimento com argila selecionada e compactada em níveis satisfatórios), evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. É, sem dúvida, uma interessante alternativa de disposição final de resíduos sólidos para os países em desenvolvimento, como o Brasil. Atualmente, cerca de 10% das comunidades brasileiras solucionaram o seu problema de disposição de lixo adotando a técnica do aterro sanitário (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A construção do aterro sanitário implica critérios de engenharia no projeto de sistemas de drenagem periférica e superficial para afastamento de águas de chuva, de drenagem de fundo para a coleta do lixiviado (chorume), de sistema de tratamento para o lixiviado drenado, de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica. O subsolo deve ser impermeabilizado e/ou adensado. No aterro as operações básicas incluem o espalhamento, compactação e cobrimento diário dos resíduos sólidos com terra. O aterro pode ser transformado em áreas verdes ou empregado mais tarde na agricultura (HAMMER, 1979; IMHOFF e IMHOFF, 1986; BIDONE e POVINELLI, 1999).

Os aterros são comumente usados como disposição final para as cinzas do incinerador, para o lodo digerido desidratado e para o lodo bruto desidratado. Muitas cidades dispõem o lodo juntamente com os resíduos sólidos nos aterros sanitários (HAMMER, 1979).

O consorciamento de lodos com resíduos sólidos urbanos, representa uma alternativa interessante do processo de digestão anaeróbia totalmente espontâneo, que ocorre nos aterros sanitários. Os lodos, principalmente aqueles provenientes de tratamentos primários de esgotos sanitários, funcionam como inóculo, enriquecendo a biota da massa de resíduos após a sua adição e acelerando o processo de geração de metano a partir do material orgânico bruto (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Lodos frescos provenientes de processos anaeróbios e aeróbios de tratamento de esgotos apresentam grandes concentrações de organismos patogênicos e também podem ser codispostos com os resíduos urbanos. No entanto, os próprios processos de estabilização do material orgânico codisposto com estes eventuais materiais, pela elevação de temperatura (processos aeróbios) ou pelas variações significativas de pH (processos anaeróbios), atenuam e diminuem esses aspectos que podem, em se tratando de matéria fecal de origem humana, ser provenientes de algum organismo doente, desenvolvendo alguma enfermidade de origem fecal. De forma geral, a existência nas massas de resíduos de organismos saprófitos (que se alimentam de animais ou vegetais em decomposição), praticamente elimina a possibilidade da existência de organismos patogênicos (de animais de sangue quente) no lixo. Com isso, fica improvável a ocorrência de problemas de saúde pública (BIDONE e POVINELLI, 1999).

As vantagens que decorrem da codisposição são: maior produção de gás metano; mais rápida estabilidade do percolado (quando recirculado na massa de resíduos); redução do tempo de bioestabilização; e maior e melhor controle do percolado e do biogás produzido, entre outras (BIDONE e POVINELLI, 1999).

O grande problema que surge dessa codisposição ou disposição conjunta, é a quantificação da fração ideal de lodo a ser adicionada aos resíduos sólidos orgânicos, de tal forma garantir o desempenho esperado dos aterros (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Segundo BIDONE e POVINELLI (1999), na bibliografia encontra-se que não são necessárias manter elevadas proporções de lodos de esgotos nas misturas e que resultados bastante satisfatório têm sido obtidos com a adição apenas de 5% de sólidos totais introduzidos, como lodos de esgotos, nas misturas. Essa adição já promove a redução de sólidos voláteis e estudos realizados no Brasil mostraram que em misturas com lodos, participando estes com percentuais entre 5% e 20%, a redução de sólidos voláteis situou-se em torno de 50% a 55%, enquanto para resíduos orgânicos degradados na ausência destes lodos, a redução observada foi de apenas 30%.

A tendência atual é adicionar lodos de esgotos em aterros sanitários, visando ao aumento na produção de biogás e a diminuir o tempo para o início de sua produção. É provável que, em função do tamanho das partículas normalmente dispostas nas células, menos acessíveis ao ataque microbiano, as necessidades de lodos de esgotos sejam menores que os valores referidos (BIDONE e POVINELLI, 1999).

2.7. CLASSIFICAÇÃO DO BIOSSÓLIDO

A higienização trata-se da etapa de tratamento do lodo que assume grande importância, se a alternativa para disposição final do produto for a reciclagem agrícola (PASSAMANI e GONÇALVES, 2000). Muitos tratamentos biológicos removem patógenos presentes no esgoto, nem sempre pela destruição das suas funções vitais, mas freqüentemente pela sua captura e concentração no lodo originado pelo processo de tratamento. (GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI, 2000).

A esterilização do lodo elimina os agentes patogênicos e também os riscos de infecção, ao passo que, os tratamentos higienizantes apenas os diminuem. Por outro lado, lodo não tratado tem sido utilizado em alguns países, mas para isso é proposto um conjunto de regras de utilização, que visem evitar ao máximo todo tipo de risco. A França (ADAME, 1998) e Estados Unidos (EPA, 1993) além do bio sólido tratado utilizam-no sem tratamento mas com sistema de gestão de risco. Outros países como Suíça e Dinamarca, utilizam uma combinação de dois métodos (higienização e restrição de área de uso) (SOCOOL e PAULINO, 2000).

Tendo em vista os padrões de qualidade de lodos para reciclagem na agricultura, o lodo de esgoto pode ser classificado em duas categorias (EPA 503 - lodo Classe A e Classe B), de acordo com a capacidade de remoção destes microorganismos (processos de tratamento avançados e de redução significativa. A Tabela 2.27 apresenta as diferenças de classificação dos processos de higienização nas legislações dos E.U.A. e da Grã-Bretanha. (PASSAMANI e GONÇALVES, 2000).

Diversos países dispõem de normas técnicas que regulamentam o uso e a disposição do lodo de esgoto na agricultura, estabelecendo critérios baseados no risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente. Segundo estas normas o lodo de esgoto pode ser utilizado na agricultura após higienização por processo que eliminem ou reduzam significativamente o

teor de organismos patogênicos, tornando o produto final biologicamente inerte de acordo com a aplicação desejada.

No Brasil ainda não existe norma brasileira específica a respeito do assunto. Estados brasileiros (São Paulo, Paraná, entre outros) vem baseando-se em critérios internacionais para elaborar suas normas e disponibilizar os biossólidos que passaram por processo de digestão e higienização para o agricultor.

A Tabela 2.28 especifica os critérios de classificação do lodo, de acordo com as características sanitárias e o uso agrícola do material apresentado pelas legislações dos E.U.A. e do Paraná (PASSAMANI, LIMA e GONÇALVES, 2000).

Tabela 2.27 - Processos de higienização do lodo

Processo	E.U.A.	Grã-Bretanha
Lodo Classe B - Processos para redução significativa de patógenos		
Digestão aeróbia	40 dias a 20 °C a 60 dias a 15 °C	Não reconhecida
Leitos de secagem, desidratação e estocagem	3 meses (ou 2 meses acima de 0 °C)	3 meses, caso digerido anaerobicamente
Compostagem	15 dias a ≥ 40 °C ($T \geq 55$ °C por 4 h)	15 dias a ≥ 40 °C ($T \geq 55$ °C por 4 h)
Digestão anaérobica	$\chi_c = 15$ dias, 35 - 55 °C ou 60 dias a 20 °C	$\chi_c = 12$ dias, 35 ± 3 °C ou 20 dias a 25 ± 3 °C, ambos seguidos de digestão secundária com $\chi_c = 14$ dias 3 meses
Estocagem na forma líquida	Não reconhecida	
Lodo Classe A – Processos avançados para redução de patógenos		
Compostagem	Reatores confinados com $\chi_c = 3$ dias a 55 °C; Leiras com $\chi_c = 15$ dias a 55 °C	5 dias a ≥ 4 °C ($T \geq 55$ °C por 4 h)
Secagem	80 °C em biossólidos ou gás de exaustão 30 min a 180 °C	Não reconhecida Não reconhecida
Tratamento térmico	$\chi_c = 15$ dias a 55 °C	$\chi_c = 7$ dias, com $T \geq 55$ °C por 4 h
Digestão aeróbia termofílica	30 min a $T = 70$ °C	30 min a $T = 70$ °C ou 4 h a 55 °C
Pasteurização	2 h a $pH = 12$	2 h a $pH \geq 12$
Estabilidade com cal		

Fonte: HALL (1998) citado por PASSAMANI e GONÇALVES (2000)

Tabela 2.28 - Limites estabelecidos para patógenos pela legislação do Paraná e dos E.U.A.

Legislação do Paraná		
Microorganismos/ Classes	Lodo Classe A	Lodo Classe B
Ovos viáveis helmintos Salmonella spp Coliformes fecais Vírus entéricos Culturas	< 1/4g M.S. Ausente < 10 ³ /100g M.S. < 10 ³ /100g M.S. milho, feijão, soja, ou seja, grandes culturas mecanizadas e sem contato primário	Não especificado Não especificado < 2 x 10 ⁶ /g M.S. Não especificado Pode ser utilizado na agricultura com algumas restrições.
Legislação do E.U.A.		
Microorganismos/ Classes	Lodo Classe A	Lodo Classe B
Ovos viáveis helmintos Salmonella spp Coliformes fecais Vírus entéricos Culturas	< 1/4g M.S. < 3/4g M.S. < 10 ³ /4g M.S. < 1/4g M.S. Pode ser aplicado em terrenos de praças, jardins e pastagens	Não especificado Não especificado < 2 x 10 ⁶ /g M.S. Não especificado Pode ser utilizado na agricultura com algumas restrições.

Fontes: SANEPAR (1997) e EPA (1992) citado por GONÇALVES, LIMA e PASSAMANI (2000)

M.S. – matéria seca

3.0. DETERMINAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS AMOSTRAS DE LODO E ÁGUA DE ETAs E ETEs

3.1. INTRODUÇÃO

Devido à industrialização, ao crescimento populacional e agrícola, o consumo de água no mundo aumentou de maneira assustadora, ocorrendo uma grande produção de esgoto sanitário. Para atender a esta demanda, protegendo a saúde pública e preservando o meio ambiente, é necessário remover as impurezas físicas, químicas e biológicas que estão dissolvidas e suspensas no meio líquido, tanto nas estações de tratamento de água (ETAs), como as estações de tratamento de efluentes sanitários (ETEs) ou industriais. Entretanto, tanto numa como na outra gera-se um grande volume de resíduo sólido chamado lodo. Como foi visto no capítulo 2, a geração, as características, tratamento e disposição final do lodo de ETEs, representam um sério problema que requer o gerenciamento desses sistemas.

Segundo KAWAMOTO e FERREIRA FILHO (2000), historicamente pouca atenção era dada para a disposição final dos resíduos sólidos gerados em ETAs. Em geral, os resíduos eram simplesmente encaminhados para o curso d'água mais próximo, causando uma série de problemas ao meio ambiente. Somente nos anos 60, nos Estados Unidos da América, alguns estados começaram a considerar estes resíduos como poluidores e estabeleceram padrões para o seu tratamento e disposição final. Com essas restrições, o lançamento em aterro sanitário passou a ser uma nova alternativa para a disposição destes resíduos. Entretanto, os custos com transporte e a disposição ficaram mais elevados.

Desde a década de 70, nos países desenvolvidos, como EUA e alguns países da Europa, tem-se dado grande atenção ao tratamento destes resíduos (KAWAMOTO e FERREIRA FILHO, 2000). Entretanto, a opção de disposição dos resíduos sólidos gerados em ETAs em corpos de águas superficiais é ainda um método de disposição muito utilizado em vários países (CORDEIRO, 2000).

No Brasil, a maior preocupação tem sido em relação aos resíduos gerados em ETEs, e pouco tem sido discutido em relação aos resíduos gerados em ETAs (CORDEIRO, 2000). A maioria das ETAs lança seus resíduos sólidos na forma de efluentes em corpos receptores adjacentes às estações ou nas redes de água pluviais, sem nenhuma forma de tratamento prévio dos resíduos. Devido aos elevados custos de implantação e operação dos processos de

tratamento do lodo, favorece-se o aumento do grau de poluição e contribui-se para uma crescente degradação do meio ambiente (Figura 3.1). Algumas entidades de controle ambiental tentam restringir esta prática e já começaram a pressionar para que alguma mudança seja feita neste sentido (CORDEIRO, 2000; KAWAMOTO e FERREIRA FILHO, 2000).



Figura 3.1 – Despejo dos resíduos gerados na ETA Gurjaú no meio ambiente

Nas ETAs que utilizam mananciais superficiais, para que a remoção de partículas finas em suspensão e em solução presentes na água bruta seja bem sucedida, é necessária a aplicação de produtos químicos. Estes têm a finalidade de desestabilizar as partículas coloidais e aglutinar as partículas orgânicas e minerais, inclusive as argilas, para formar flocos com tamanho suficiente para sua separação por sedimentação. As substâncias utilizadas nas ETAs e ETEs como coagulantes primários nas etapas de floculação-sedimentação, são o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e o cloreto férrico ($FeCl_3$). Os sais de alumínio são mais amplamente utilizados pela maioria das estações de tratamento de água em todo o mundo, principalmente devido ao seu baixo custo (CORDEIRO, 2000).

Os sistemas de tratamento de água de abastecimento podem gerar resíduos em diversas etapas e estes podem possuir as mais diferenciadas características, relacionadas à natureza físico-química da água bruta (matéria-prima), ao tipo e dose dos produtos químicos adicionados (ao coagulante utilizado), ao arranjo e à eficiência hidráulica das unidades de processo na estação, às etapas definidas no projeto e às condições de operação das unidades (CORDEIRO, 2000; RICHTER, 2000).

Os principais resíduos gerados nas ETAs são: o rejeito de limpeza dos tanques de preparo dos produtos químicos, o lodo acumulado nos decantadores (podendo ficar retido durante um curto período de 24 horas ou um longo período de um a três meses) e a água de lavagem dos filtros (a remoção é feita diariamente) (CORDEIRO, 2000).

Os resíduos das ETAs caracterizam-se por possuir alto teor de umidade, geralmente maior que 95%, estando, de maneira geral, sob a forma líquida (CORDEIRO, 2000); e pode conter alto teor de matéria orgânica (KAWAMOTO e FERREIRA FILHO, 2000). Normalmente apresentam teores de sólidos na faixa de 0,1% a 1,0%, mas se a remoção dos resíduos ocorrer em intervalos de tempo acima de 20 dias, chegam a possuir concentrações de sólidos maiores que 2,5%, podendo provocar alterações consideráveis nesses resíduos. Os resíduos dos decantadores têm em sua composição grandes concentrações de alumínio, quando o sulfato de alumínio é utilizado como coagulante primário. O ferro por ser um dos constituintes do sulfato de alumínio comercial, também é encontrado no lodo (CORDEIRO, 2000).

Segundo RICHTER (2000), o conteúdo de sólidos totais no tanque de decantação varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1% a 4%) e entre 40 a 1.000 mg/L (0,001% a 0,1%) na água de lavagem dos filtros. Normalmente, 75% - 90% destes valores representam sólidos suspensos e 20% - 35% compostos voláteis. Geralmente apresenta uma pequena proporção de biodegradáveis e valores de pH próximos ao neutro.

A composição do lodo de ETAs varia de acordo com as características da água bruta: pH do meio, variações sazonais, presença de ligantes e hidróxidos; dosagem e produtos químicos utilizados no tratamento; possíveis contaminantes contidos nesses produtos; reações químicas ocorridas durante o processo; forma de limpeza e tempo de retenção dos resíduos nos decantadores; características hidráulicas, químicas, físicas e biológicas do corpo receptor, entre outros fatores. A toxicidade potencial dos lodos de ETA, para plantas, seres humanos e organismos aquáticos, depende destes fatores (CORDEIRO, 2000; REALI, 2000).

Os lodos dos decantadores são enquadrados segundo a NBR-10.004 (ABNT, 1987) como resíduos sólidos e, portanto, devem ser tratados e dispostos dentro dos critérios estabelecidos pela norma (CORDEIRO, 2000).

As ETAs que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante produzem lodo de coloração marrom, com viscosidade e consistência que lembram chocolate líquido (DOE, 1990 citado por REALI, 2000) (Figura 3.2). Esse lodo apresenta-se no estado de gel quando

em repouso, mas torna-se relativamente fluido quando submetido a esforços cisalhantes (HUDSON, 1981 citado por REALI, 2000); geralmente, é de difícil sedimentação ou flotação no estado natural. O lodo gerado em ETAs que empregam sais de ferro como coagulante geralmente tem coloração marrom-avermelhada e também apresenta dificuldade de flotação ou sedimentação natural (REALI, 2000).



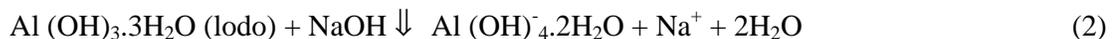
Figura 3.2 – Aspecto do lodo do decantador da ETA Presidente Castello Branco (à esquerda) e ETA Gurjaú (à direita) (sulfato de alumínio como coagulante)

O período de acumulação de sólidos em decantadores retangulares convencionais sem remoção mecânica do sedimento, usualmente é bastante longo, chegando a meses na maioria dos casos. Favorece-se assim, o surgimento de condições anaeróbias na massa de lodo acumulado, ocasionando impacto nas características do lodo e da água tratada. Uma possível consequência dessas condições anaeróbias é a dissolução de metais presentes no lodo (Fe, Mn, Al e outros metais pesados) (REALI, 2000). A solubilização do hidróxido de alumínio contido no lodo pode ocorrer pela via ácida (valores de pH abaixo de 4) ou via alcalina (valores de pH acima de 10) e podem ser representadas pelas reações a seguir (GONÇALVES et al., 2000):

i) Reação de solubilização do Al pela via ácida:



ii) Reação de solubilização do Al pela via alcalina:



Nas ETAs que utilizam os filtros lentos, a quantidade de lodo formada é muito menor do que nos sistemas de tratamento que empregam filtros rápidos, pelo fato de não serem utilizados produtos químicos, principalmente coagulantes e auxiliares. Como benefício adicional, o lodo resultante dos filtros lentos é constituído de uma mistura de areia e material orgânico biodegradável e isento de produtos químicos; e pode ser aplicado com vantagem na agricultura, principalmente no condicionamento de solos argilosos. Além disso, o lodo tem uma grande porcentagem de matéria seca, podendo ser manuseado praticamente a seco. Isso impede a poluição dos cursos d'água o que, nos filtros rápidos, é muito difícil de ser evitado sem a utilização de sistemas caros de recuperação de água e reuso de produtos químicos (SANTOS e TSUTIYA, 1997).

O transporte de formas de alumínio no processo pode-se dar para as partículas retidas nos decantadores e nos filtros das ETAs, mas também através da água filtrada e distribuída à população. Suspeita-se de que altas concentrações de alumínio podem estar diretamente ligadas ao mal de Alzheimer (REDICDIT, 1975 citado por CORDEIRO, 2000). Estudos realizados em 186 ETAs, espalhadas por todo os EUA, revelaram que existem 40% a 50% de chance de haver concentrações mais elevadas de alumínio na saída, na água tratada, do que em relação à entrada da ETA na água bruta (MILLER et al. citado por CORDEIRO, 2000).

Dentre as operações unitárias comumente empregadas no tratamento convencional dos resíduos sólidos gerados em ETAs, o mais usado é o condicionamento químico dos lodos com a adição de polímeros sintéticos (ou outro tipo de condicionamento). O objetivo é atingir desempenho adequado na operação de adensamento por flotação ou por sedimentação, visando a sua preparação para a etapa de desidratação, por métodos que utilizam equipamentos, tais como centrífugas, filtros-prensa, filtros à vácuo ou prensa desaguadoras (REALI, 2000).

Dentre as várias alternativas possíveis de serem adotadas para disposição final do lodo de ETAs temos: (i) disposição em aterros sanitários, (ii) co-disposição com biossólidos, (iii) disposição controlada em certos tipos de solos, (iv) aplicações industriais diversas, (v) incineração dos resíduos e (vi) outras novas aplicações. Essas alternativas são dependentes da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental para o caso (REALI, 2000).

Segundo CORDEIRO (1999) os leitos de secagem vêm sendo utilizados para os rejeitos gerados nas ETAs em diversos países e em alguns estados brasileiros. Segundo GONÇALVES et al. (1999) a solubilização dos coagulantes e sua reciclagem permite a

minimização dos custos e os problemas associados à disposição final dos lodos gerados em ETAs. Encontra-se quatro opções tecnológicas disponíveis para a recuperação dos coagulantes: recuperação por via ácida, recuperação por via alcalina, extração com solventes orgânicos e extração com quelantes. Segundo REALI (1999) uma das opções possíveis para a destinação final do lodo de ETAs seria aplicações industriais na construção de bases de certos tipos de pavimentos, na fabricação de tijolos ou outros materiais de construção (material para tijolos refratários, agente plastificador em cerâmica, na pavimentação de estradas e na produção de cimento).

A remoção de água dos lodos é fator fundamental para o equacionamento do problema, que pode ser através de métodos que utilizam a remoção natural da água livre, tais como as lagoas de lodo e leitos de secagem. Os leitos de secagem estão sendo utilizados para a remoção de água de lodos de ETAs em vários locais na Europa e EUA. No Brasil poucas ETAs estão utilizando leitos de secagem para a remoção de água do lodo (CORDEIRO, 2000), para posterior destinação final adequada (por exemplo, aterros). Para a disposição de lodo gerado a partir da coagulação com sulfato de alumínio em aterros sanitários, deve-se obter tortas com teor de sólidos totais (em massa) acima de 25% (REALI, 2000).

Segundo DI BERNARDO, SCALIZE e SOUZA FILHO (1999), os lodos produzidos em ETAs que utilizam sulfato de alumínio exigem cuidado especial na disposição em aterros sanitários, pois os aterros de resíduos sólidos são anaeróbios e produzem ácidos voláteis, e que segundo CORNWELL et al. (1987) se o pH estiver na faixa de 5 a 5,5 ocorrerá a dissolução do alumínio e outros metais.

Este capítulo é composto por três seções adicionais, onde se descrevem as técnicas de caracterização físico-químicas das amostras, abordando também os princípios fundamentais relativos a cada técnica utilizada nos métodos experimentais empregado no trabalho. A primeira seção trata da metodologia utilizada nas preparações das amostras das fases líquida e sólida. Na segunda seção estão apresentados os resultados obtidos relativos à caracterização das amostras. É feita também uma discussão detalhada destes resultados, comparando-os com os encontrados na literatura. Na última seção estão apresentadas as conclusões.

3.2. METODOLOGIA

O trabalho experimental foi desenvolvido utilizando amostras da fase líquida e sólida provenientes de seis estações de tratamento da Região Metropolitana do Recife, sendo três ETAs e três ETEs. Duas ETEs tinham tratamento a nível secundário, com reator anaeróbio tipo UASB (*upflow anaerobic sludge blanket reactors*), construídos e instalados pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA); a terceira ETE era aeróbia, tipo lodos ativados com aeração prolongada, construída e instalada por um empreendimento hoteleiro de alto padrão. Os sistemas de tratamento são de localidades distintas do Recife e do Cabo de Santo Agostinho no estado de Pernambuco. Este estudo é parte de um trabalho mais amplo que o Grupo de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco vem realizando há alguns anos nestes sistemas de tratamento, visando alternativas de tratamento para disposição final apropriada e aproveitamento do valor econômico e agrônômico dos resíduos sólidos gerados.

3.2.1. Sistemas de Tratamento

i) ETA Presidente Castello Branco: localizada no bairro do Curado na cidade do Recife, trata 4.000 L/s d'água das barragens de Tapacurá, Carpina, Duas Unas, Várzea do Una, Goitá e do rio Capibaribe (capta água por duas estações elevatórias, Castello e Tiúma). Emprega o sulfato de alumínio como coagulante primário. O sistema de tratamento é do tipo convencional (coagulação, floculação, decantação e filtração), constituído por duas etapas, na primeira tem-se oito decantadores convencionais e 10 filtros de areia de fluxo descendente (fluxo vertical) (Figura 3.3); a segunda etapa também é constituída de oito decantadores do tipo modulares e dez filtros. A remoção do lodo dos decantadores é realizada de um a três meses e a operação de limpeza é manual utilizando jatos de água sob pressão; a dos filtros ocorre 2 vezes por dia e é por insuflação de ar, seguida da lavagem com água no sentido ascensional.

ii) ETA Gurjaú: localizada na cidade do Cabo de Santo Agostinho, trata 1000 L/s d'água das barragens de Gurjaú, Sucupema e o rio Pirapama. O sistema também é convencional, tem dois

decantadores convencionais e oito filtros de fluxo vertical (Figura 3.4). A remoção do lodo dos decantadores e dos filtros é semelhante à da ETA Presidente Castello Branco.

iii) ETA Suape: localizada no município do Cabo de Santo Agostinho, junto ao Complexo Industrial e Portuário de Suape, trata 800 L/s d'água das barragens do rio Bitá, Utinga e Ipojuca. O sistema também é convencional, tem quatro decantadores do tipo modular e oito filtros de fluxo vertical. A remoção do lodo dos decantadores e dos filtros é semelhante à das ETAs anteriores.

iv) ETE Mangueira: localizada no bairro da Mangueira na Região Metropolitana do Recife, foi projetada para atender a população dos bairros da Mangueira, San Martim e adjacências, somando aproximadamente 18.000 habitantes, mas atualmente atende a 13.500 habitantes. A vazão média de esgoto que chega a estação é aproximadamente 2678,4 m³/dia, enquanto sua vazão máxima está em torno de 4406,4 m³/dia. O sistema de tratamento é composto por uma estação elevatória, uma calha Parshall, uma grade de barras, duas caixas de areia, um reator anaeróbio tipo UASB (projetado com oito células individuais operadas em paralelo; cada célula possui um volume de aproximadamente 105 m³) com volume total de 810 m³, uma lagoa de polimento e oito leitos de secagem (Figura 3.5A). O efluente tratado tem como destino final um tributário do rio Tejipió. As descargas de lodo de excesso durante o período deste trabalho foram efetuadas nas células dois e oito, em janeiro de 1999, em todas as células no mês de agosto de 2000 e apenas na célula oito, no mês de outubro de 2000. Cada descarga correspondia a um volume total de 8,6 m³ de lodo de cada célula.

v) ETE Vila São João: localizada no bairro do DETRAN na Região Metropolitana do Recife, foi projetada para receber os efluentes das residências da Vila São João, atendendo a aproximadamente 8.500 habitantes. A vazão média de esgoto do projeto que chega a estação é aproximadamente 1824 m³/dia, enquanto sua vazão máxima está em torno de 2736 m³/dia e vazão mínima em 912 m³/dia. O sistema de tratamento é composto por uma estação elevatória, uma calha Parshall, uma grade de barras, duas caixas de areia, um reator anaeróbio tipo UASB (projetado com quatro células individuais operadas em paralelo, com cada célula com volume de ± 105 m³) com volume total de 405 m³ e quatro leitos de secagem (Figura 3.6A). O efluente tratado tem seu destino final no rio Capibaribe.

vi) ETE Cabanga: localizada no bairro do Cabanga na cidade do Recife, foi projetada para tratar os esgotos dos bairros do Recife, São José, Santo Antônio, Boa Vista, Madalena, Torre, Afogados, Santo Amaro e Boa Viagem, atendendo uma população de aproximadamente 100.000 habitantes. A ETE tem capacidade de tratar 80.000 m³/dia de esgoto reduzindo 40% da carga orgânica, mas nunca operou com mais de 40.000 m³/dia. A vazão de esgoto que chega a estação é em torno de 10.000 m³/dia. O sistema é composto por uma calha Parshall, duas grades de barras, duas caixas de areia, quatro decantadores primários, dois digestores anaeróbios convencionais e vinte leitos de secagem.

vii) ETE aeróbia: localizada no Hotel Blue Tree Park, no município do Cabo de Santo Agostinho (sul da RMR), foi projetada para receber efluente do hotel atendendo a aproximadamente 1.000 hóspedes. A vazão média de esgoto de projeto é aproximadamente 360 m³/dia e a sua vazão máxima é de 540 m³/dia. O sistema é composto por duas estações elevatórias, duas caixas de entradas, duas grades de barras, três calhas Parshall, três tanques de aeração com difusores de ar tipo bolha média, três decantadores não mecanizado com fluxo horizontal, três dispositivo de “air lift” para retorno contínuo do lodo do decantador aos tanques de aeração e três tanques de lodo para adensamento e estocagem (Figura 3.7A). O efluente tratado tem seu destino final no rio Messengana. A descarga de lodo de excesso é efetuada quando o mesmo possui sólido sedimentável acima de 800 mL/L, e isso ocorre geralmente a cada dois meses, coincidindo ou com períodos de alta estação (julho e dezembro) ou nos períodos de eventos como congresso ou convenções (maio e junho). Quatro vezes por ano descarta-se um volume total de 210.000 litros de lodo nos tanques (70.000 litros em cada tanque de lodo) para adensamento e estocagem. Após o adensamento, a remoção do lodo é feita por caminhões limpa-fossa para desidratação em lagoa de lodo na ETE Janga da COMPESA, no município de Paulista, no norte da RMR.

viii) ETE Janga: foi projetada para atender a população de aproximadamente 175.152 habitantes. A vazão de esgoto que chega à estação de tratamento é em torno de 27.000 m³/dia. O sistema é composto por uma calha Parshall, uma caixa de gordura, uma grade de barras e uma caixa de areia, sistema de valo de oxidação tipo carroussel (lodos ativados com aeração prolongada), dois decantadores secundários e duas lagoas de lodo.

3.2.2. Amostragem e Análises

No presente estudo, as amostragens foram realizadas nos meses de fevereiro a setembro de 2000, sendo coletadas de cada ponto correspondente, 2 L da fase líquida e 2 L da sólida, em garrafas plásticas.

i) Na ETA Presidente Castello Branco as amostras da fase líquida foram coletadas no laboratório, da torneira de tomada de água bruta (CBB) e da torneira de tomada de água tratada (CBT); entrada do filtro da 1ª fase (CB1F) e entrada do filtro da 2ª fase (CB2F). Também foram coletadas amostras da torneira de tomada de água tratada no bairro do Cordeiro (CT) e torneira de tomada de água do poço da UFPE no laboratório de Saneamento Ambiental (BU) para comparação com as amostras da ETA. As amostras de lodos na ETA Presidente Castello Branco foram coletadas no decantador (CBD) e no filtro (CBF) (Figura 3.3).

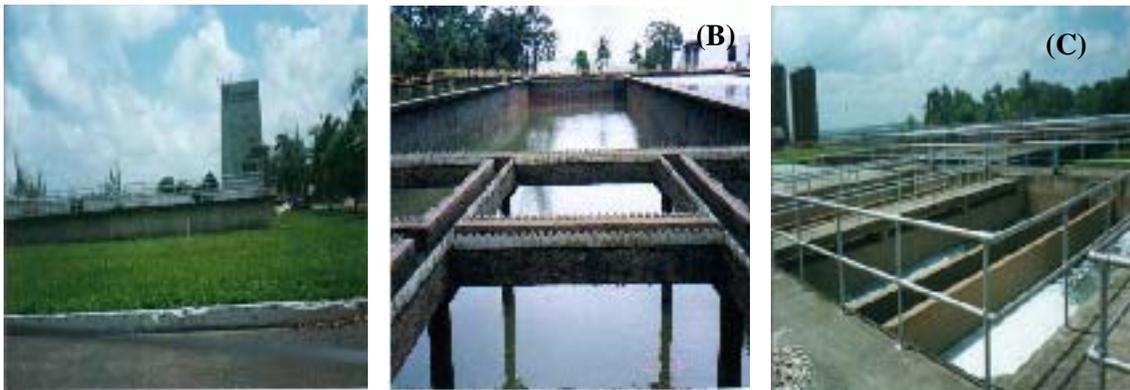


Figura 3.3 – Vista frontal da ETA Presidente Castello Branco (A), decantador (B) e filtros (C) da 1ª fase.

ii) Na ETA Gurjaú as amostras da fase líquida foram coletadas no laboratório, da torneira de tomada de água bruta (GB) e da torneira de tomada de água tratada (GT). Também foi coletada amostra da torneira de tomada de água tratada no bairro Pontes dos Carvalhos (TPC) para comparação com as amostras da ETA. As amostras de lodos na ETA Gurjaú foram coletadas no decantador (GD) e no filtro (GF) (Figura 3.4).

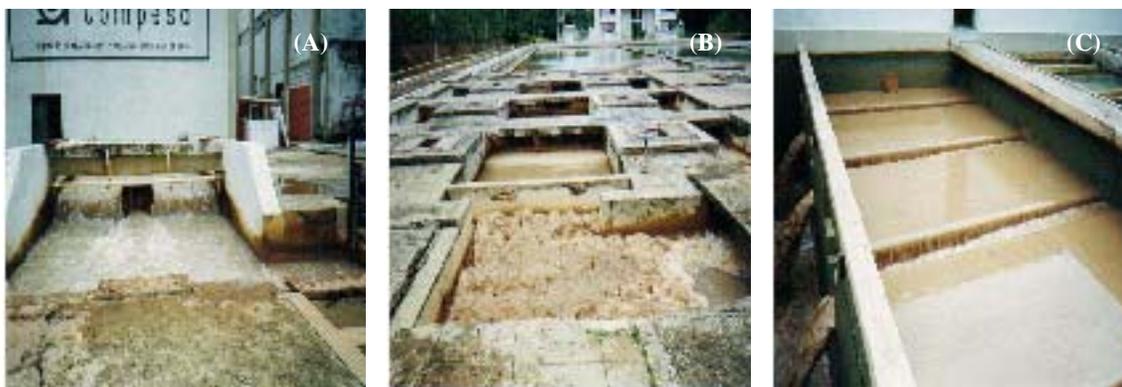


Figura 3.4 – Entrada da água bruta (A), floculadores e decantadores (B) e filtro (C) da ETA Gurjaú.

iii) Na ETA Suape a amostra de lodo foi coletada no decantador (SD).

iv) Na ETE Mangueira as amostras da fase líquida foram coletadas nos seguintes pontos: antes da grade (MA), tubulação de saída do efluente dos reatores (MER) e caixa de saída do efluente da lagoa de polimento (MEL). As amostras da fase sólida (lodo anaeróbio) foram coletadas na tubulação de descarga de lodo de excesso, a 0,5m de altura do fundo, na célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB e na superfície do lado direito na lagoa de polimento em operação, onde se observou maior acúmulo de lodo (MLP) (Figura 3.5).



Figura 3.5 – Vista superior do reator UASB e da lagoa de polimento da ETE Mangueira (A), tubulação de tomada do lodo de excesso do reator UASB (B) e do local de amostragem na lagoa de polimento (C).

v) Na ETE Vila São João, foram coletadas as amostras da fase líquida antes da grade (VSJA) e na tubulação de saída do efluente dos reatores (VSJE). As amostras de biossólidos foram coletados na tubulação de descarga de lodo de excesso, a 0,5m de altura do fundo, na célula 1 (VSJ1), célula 2 (VSJ2), célula 3 (VSJ3) e célula 4 (VSJ4) do reator UASB (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Vista frontal da ETE Vila São João (A) e da tubulação de tomada do lodo de excesso do reator UASB (B).

vi) Na ETE Cabanga a amostra do afluente foi coletada no poço úmido (CA).

vii) Na ETE Cabo as amostras da fase líquida foram coletadas na tubulação de entrada do afluente (BTPA) e na tubulação de saída do efluente (BTPE). A amostra de lodo foi coletado na canaleta de recirculação de retorno do lodo de excesso do decantador secundário (BTP) (Figura 3.7).

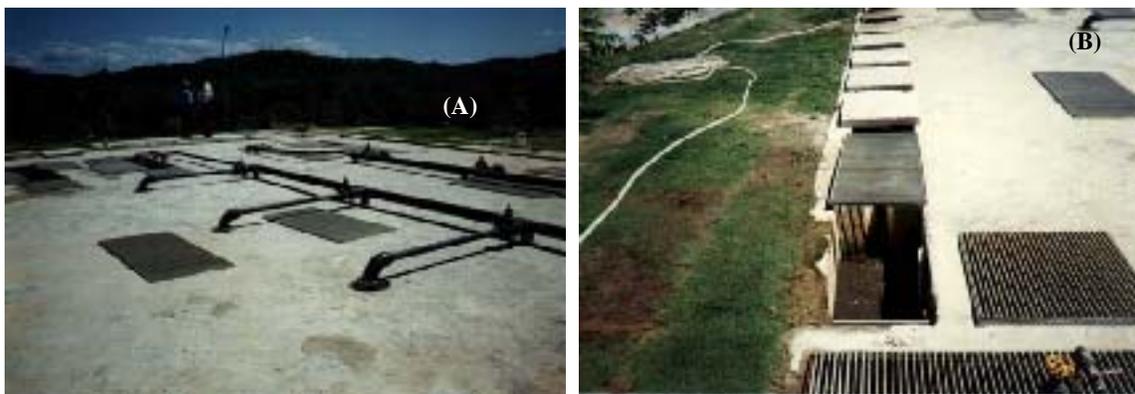


Figura 3.7 – Vista superior da ETE Cabo (A) e da canaleta de tomada do lodo de excesso de retorno do decantador secundário (B).

Logo após as coletas, as amostras eram etiquetadas, preservadas, acondicionadas e transportadas para Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (Departamento de Engenharia Civil) e as análises de metais no Laboratório ICP-AES (do inglês, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry) (Departamento de Geologia), ambos desta Universidade.

Os parâmetros físico-químicos utilizados na determinação das características da fase líquida e sólida das ETAs e ETEs, e as suas notações para representação em tabela e matemática são os seguintes:

i) fase líquida das ETAs e ETEs - pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais a 105°C (ST), sólidos totais fixos e voláteis a 550°C (STF e STV), sódio (Na), ferro (Fe), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), alumínio (Al), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), cromo (Cr), chumbo (Pb) e manganês (Mn). Na fase líquida das ETEs também foram realizadas as análises de alcalinidade total (AT) e demanda química de oxigênio (DQO).

ii) fase sólida das ETAs e ETEs – determinou-se os mesmos parâmetros da fase líquida, umidade a 65 e 105°C (U65 e U105), potássio (K), sólidos suspensos totais a 105°C, sólidos suspensos fixos e voláteis a 550°C. Foram também analisados na fase sólida das ETEs os seguintes parâmetros: AT, sulfato (S), fósforo total (P), nitrogênio total Kjeldahl (N), volume sedimentado, índice volumétrico, densidade do lodo. As Figuras 3.6, 3.7 e 3.8 mostram os aspectos físicos dos lodos na determinação dos sólidos.



Figura 3.8 – Lodo do decantador da ETA Gurjaú, na forma semi-sólida (à esquerda), seco a 105°C (ao centro) e calcinado a 550°C (à direita).



Figura 3.9 – Lodo aeróbio do decantador secundário da ETE Cabo, na forma fluida (à esquerda), seco a 105°C (ao centro) e calcinado a 550°C (à direita).



Figura 3.10 – Lodo anaeróbio do reator UASB da ETE Mangueira, na forma fluida (à esquerda), seco a 105°C (ao centro) e calcinado a 550°C (à direita).

Os equipamentos utilizados na realização das análises foram os seguintes:

- i) pHmetro digital, potenciômetro com exatidão e precisão de 0,1 unidade, marca HANNA e LT LUTRON, modelo pH – 206;
- ii) Condutivimetro digital, condutividade elétrica expressa em $\sigma\text{S/cm}$ ou mS/cm , marca HACH, modelo CO 150;
- iii) Centrifuga, marca FANEM, modelo 204 – N;

- iv) Balança analítica, sensibilidade 0,0001g, capacidade 200 g, marca BOSCH, modelo S 2000;
- v) Balança semianalítica, com sensibilidade de 0,1g, capacidade 5000 g, marca MARTE, modelo A 5000;
- vi) Estufa a 60 - 65 °C, marca FANEM, modelo S15 SE;
- vii) Estufa a 105 ± 5 °C, marca FANEM, modelo S15 SE;
- viii) Muflas, marca ALTRONIC ou QUIMIS;
- ix) Banho maria, marcas ÉTICA, TONINI e FANEM;
- x) Chapa de aquecimento, marca Quimis;
- xi) Agitador magnético, marca FANEM, modelo 258;
- xii) Bloco para nitrogênio de 15 e 40 provas, modelo TECNAL;
- xiii) Destilador de nitrogênio, marca TECNAL, modelo TE - 036/1;
- xiv) Espectrofotômetro, marca HACH;
- xv) Fotômetro de chama, marca MICRONAL;
- xvi) Espectrômetro de emissão atômica em plasma indutivamente acoplado, marca IRIS Termo Jarrell Ash Corporation, modelo Plasma Spectrometer (Figura 3.11).



Figura 3.11 – Equipamento ICP-AES.

Os procedimentos de coleta, preservação e análises foram baseados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995), SILVA (1977) e KIEHL (1985).

3.2.3. Dados Hidrológicos

As medidas de precipitação pluviométrica foram obtidas no “site” do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As precipitações pluviométricas acumuladas nos meses de fevereiro, maio a outubro de 2000 em Recife foram de aproximadamente 80 mm, 265 mm, 635 mm, 675 mm, 445 mm, 340 mm e 45 mm, respectivamente.

3.2.4. Análise dos Componentes Principais

A técnica estatística multivariada de Análise de Componentes Principais (ACP) (do inglês Principal Component Analysis - PCA) consiste numa transformação dos dados originais (informação original) projetando em um número menor de dimensões de forma a permitir a visualização global dos dados no espaço n-dimensional através de pequenos números de gráficos bi ou tridimensionais (ESBENSEN et al. 1994; SENA et al., 2000).

O conjunto de dados originais (sem nenhuma estrutura) é colocado na matriz de dados “D” formada por $m \times n$ elementos, onde as linhas correspondem aos “m” objetos (amostras) e as colunas correspondem às “n” variáveis (medidas de diferentes propriedades) e decomposto em uma soma de “h” matrizes de posto 1 (MOITA NETO e MOITA, 1998; SENA et al., 2000).

As Componentes Principais (novos eixos) são combinações lineares dos eixos originais. As entidades matemáticas que caracterizam as componentes são: o vetor dos pesos (“loadings”), o vetor dos escores (“scores”) e a variância descrita. Os escores (autovetores) são as coordenadas dos dados nas componentes principais (CPs) e definem as projeções (localização) dos objetos ao longo desses novos eixos. Os pesos de uma CP são os seus cossenos diretores relativos ao sistema de eixos originais e indicam a contribuição de cada variável original na CP. Eles podem ser interpretados como uma medida da correlação entre as variáveis e as componentes principais. Quanto maior o peso (em valor absoluto) de uma variável na combinação linear, mais importantes do ponto de vista estatístico, mais esta variável tem em comum com esta componente e maior será a influência desta sobre a componente principal (SHARAF et al. 1986; MASSART et al. 1988; MOITA NETO e MOITA, 1998 e SENA et al., 2000).

As CPs são calculadas uma a uma, em ordem decrescente de variância (informação) total, até que o número de CPs calculadas seja suficiente para uma descrição adequada do conjunto de dados. A percentagem de informação explicada (autovalores) por cada componente principal indica quanto da variação total original dos dados ficaram retidas em cada componente. A componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante. Em muitos casos, apenas duas ou três das primeiras componentes principais obtêm-se mais que 80 - 90% desta informação e podem ser usadas para representá-las (MOITA NETO e MOITA, 1998; SENA et al., 2000).

Como as CPs são ortogonais entre si e não correlacionadas, podem ser examinadas as relações entre os objetos através dos gráficos dos escores, projetados nas primeiras CPs, obtendo-se uma representação aproximada da configuração dos objetos no espaço multidimensional, e entre as variáveis, através dos gráficos dos pesos ou através da combinação linear dos pesos. A influência de cada variável em cada amostra pode ser estimada através do estudo conjunto dos escores e pesos. As projeções bidimensionais dos dados nas CPs mostram a distribuição das amostras e das variáveis no espaço original de dimensão “n” e indicam a contribuição de uma determinada variável na CP (EGREJA FILHO et al., 1999; SENA et al., 2000).

O gráfico da componente principal 1 *versus* a componente principal 2 fornece uma janela privilegiada (estatisticamente) para observações dos pontos no espaço n-dimensional. Esses gráficos apresentam informações úteis sobre tendências e características da estrutura dos dados, tais como agrupamento de amostras e variáveis e caracterização das amostras que não se encaixam no modelo (SENA et al., 2000).

Os dados devem ser pré-tratados (auto-escalonados) para assegurar que todas as variáveis contribuam igualmente para o modelo, independente da escala em que foram medidas. O auto-escalonamento consiste em centrar os dados na média (subtrair deles o valor médio da variável correspondente) e dividir o resultado pelo desvio padrão da mesma variável. Desta maneira, as variáveis passam a ter média zero e variância um, depois de escalonadas. A técnica da validação cruzada (“cross validation”) deve ser utilizada no cálculo do número de componente para achar o melhor número de variáveis latentes (as componentes principais), calculando-se o número de componentes sem acrescentar ruído (flutuações

aleatórias), na qual o erro mínimo de previsão é determinado obtendo-se uma imagem bastante fiel da estrutura de dados (MOITA NETO e MOITA, 1998; SENA et al., 2000).

Os resultados obtidos da caracterização físico-química da fase líquida e sólida das ETAs e ETEs compõem um conjunto de dados de características multivariadas. Para facilitar a visualização e a interpretação dos resultados, devido a essa grande quantidade de informação, utilizou-se para este a técnica multivariada de análise de componentes principais, o programa THE UNSCRAMBLER ® versão 7.01, CAMO ASA 1998.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos na caracterização físico-química da fase líquida e sólida das ETAs e ETEs da Região Metropolitana do Recife (RMR) estão apresentados em Apêndice (Tabelas 1 a 4).

3.3.1. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização da Fase Líquida das ETAs

A matriz total dos dados representada no espaço tem dimensões de 11 (onze) amostras por 12 (doze) parâmetros. O cromo, cobre, chumbo, níquel e zinco não foram incluídas na ACP porque apresentavam valores abaixo dos limites de detecção do método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Nas Tabela 3.1 e 3.2 apresentam-se os resultados obtidos na caracterização físico-química da fase líquida das ETAs da RMR no período em estudo utilizado na ACP.

Tabela 3.1 - Características físicas das fases líquida das ETAs da RMR, PE.

ETAs		PARÂMETROS				
		pH	CE (σ S/cm)	ST (mg/L)	STF	STV
(% de ST)						
ETA Presidente Castello Branco	Água bruta	6,6 – 6,9	224 - 260	360,2	52,3	47,7
	Água decantada na 1ª fase	5,8	239	198,3	62,6	37,4
	Água decantada na 2ª fase	5,4	247	295,8	57,1	42,9
	Água tratada	4,3 – 5,8	261 - 317	210,3	61,9	38,1
ETA Gurjaú	Água Bruta	6,5	55,9	109,6	56,1	43,9
	Água tratada	4,1	108,2	90,4	68,7	31,4
Água tratada do bairro de Pontes dos Carvalhos		4,0	107,2	72,8	59,4	40,6

Tabela 3.2 – Concentração de metais da fase líquida das ETAs da RMR

ETAs	PARÂMETROS									
	Na	Fe	Ca	Mg	Si	Al	Mn			
	(mg/L)									
ETA Presidente Castello Branco	Água Bruta	31,7	3,3 – 4,2	12,0 – 14,1	6,1 – 6,5	N.D. – 2,5	2,3 – 4,5	0,2 – 0,4		
	Água decantada na 1ª fase	26,8	0,41	6,4	3,6	5,3	0,9	0,3		
	Água decantada na 1ª fase	30,3	0,38	6,2	4,1	4,7	0,9	0,3		
	Água Tratada	28,1 – 28,7	0,3 – 1,8	6,6 – 9,7	3,8 – 5,1	4,2 – 4,9	0,3 – 0,7	0,3 – 0,4		
Água tratada do bairro do Cordeiro	26,3	0,5	7,8	4,5	5,0	1,6	0,5			
ETA Gurjaú	Água Bruta	11,3	2,9	9,1	4,13	5,7	2,0	N.D.		
	Água tratada	6,4	0,1	1,7	1,7	5,6	0,4	N.D.		
Água tratada do bairro de Pontes dos Carvalhos	6,1	1,1	1,7	1,6	6,3	0,7	N.D.			
Água bruta do poço da UPPE	22,8	3,9	17,6	10,4	1,4	5,5	0,1			

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

A partir das informações anteriores, realizou-se a ACP dos dados das amostras da fase líquida e obteve-se um gráfico dos escores dos objetos com duas componentes que explica 84% da informação original total dos dados (Figura 3.12). Segundo os autores (MOITA NETO e MOITA, 1998; SENA et al., 2000), a percentagem de informação explicada por cada componente principal indica quanto da variação total original dos dados foram retidas em cada componente, em muitos casos, apenas duas ou três das primeiras componentes principais obtêm-se mais que 80 - 90% desta informação e podem ser usadas para representá-las.

A equação 1 representa matematicamente uma combinação linear de todas as variáveis da primeira componente principal (CP1) que contém 65% da variação original dos dados. Os resultados obtidos corroboram com (EGREJA FILHO et al., 1999; SENA et al., 2000), nas CPs podem ser examinadas as relações entre as amostras através dos gráficos dos escores e entre as variáveis, através da combinação linear dos pesos. A influência de cada variável em cada amostra pode ser estimada através do estudo conjunto dos escores e dos pesos.

$$\text{CP1} = 0,36 \text{ pH} + 0,2 \text{ CE} + 0,31 \text{ ST} - 0,31 \text{ STF} + 0,31 \text{ STV} - 0,17 \text{ Na} + 0,32 \text{ Fe} + 0,32 \text{ Ca} + 0,31 \text{ Mg} - 0,31 \text{ Si} + 0,30 \text{ Al} - 0,21 \text{ Mn.} \quad (1)$$

A análise dos pesos, em valor absoluto, revela que a CP1 é mais influenciada pelas variáveis (0,36) pH e em menores proporções por (0,32) ferro, (0,32) cálcio, (0,31) sólidos totais, (0,31) sólidos totais voláteis, (0,31) magnésio, (- 0,31) sólidos totais fixos, (- 0,31) sílica e (0,30) alumínio. Isto implica que, quanto maior o valor da projeção (escores) da amostra neste componente, maiores as concentrações do conjunto das variáveis alumínio, cálcio, ferro, magnésio, pH, sólidos totais e sólidos totais voláteis (com sinal +), e menor concentração dos parâmetros sílica e sólidos totais fixos (com sinal -) ou vice-versa. Segundo vários autores (SHARAF et al. 1986; MASSART et al. 1988; MOITA NETO e MOITA, 1998 e SENA et al., 2000), quanto maior o peso (em valor absoluto) de uma variável na combinação linear, mais importantes do ponto de vista estatístico, mais esta variável tem em comum com esta componente e maior será a influência desta sobre a componente principal.

O fato destas variáveis estarem representadas na mesma componente mostra numa correlação entre elas. Observa-se uma correlação positiva significativa entre matéria orgânica (sólidos totais e sólidos totais voláteis), dureza total (cálcio e magnésio), metais (alumínio e ferro) e pH, e negativa entre estas variáveis e o material inerte (sílica e sólidos totais fixos).

A partir do valor do coeficiente de variância descrita pelos dados obtido na ACP, pode-se interpretar que na primeira componente caracteriza-se 65% das amostras pelos parâmetros que influenciam a qualidade do manancial superficial e d'água tratada, o tipo do sistema de tratamento, e a dissolução do elemento e contaminantes presentes nos produtos químicos utilizados no tratamento para fase líquida. Observa-se que os resultados encontrados por esta componente estão de acordo com a literatura, já que, as amostras d'água bruta caracterizam-se por apresentar grande concentração de matéria orgânica e outros elementos em relação a água tratada. Em contraste, as amostras d'água tratada caracterizaram-se por apresentar maior concentração de sólidos inertes que as demais amostras.

Uma nova análise dos componentes principais foi realizada nos 35% dos dados restantes e observou-se que na segunda componente principal (CP2) são retidos 19% da informação original, e pode ser representada matematicamente, em termos dos pesos:

$$\text{CP2} = -0,11 \text{ pH} + 0,55 \text{ CE} + 0,28 \text{ ST} + 0,24 \text{ STF} - 0,24 \text{ STV} + 0,49 \text{ Na} - 0,21 \text{ Fe} + \\ + 4,52 \times 10^{-02} \text{ Ca} + 5,01 \times 10^{-02} \text{ Mg} - 0,10 \text{ Si} - 0,20 \text{ Al} + 0,41 \text{ Mn} \quad (2)$$

A análise dos pesos revela que a CP2 é constituída principalmente pelas variáveis com maior peso, ou seja, a (0,55) condutividade elétrica, e em menores proporções pelo (0,49) sódio e (0,41) manganês. Assim quanto maior o valor da projeção (escore) da amostra na CP2, maiores as concentrações dos parâmetros (com sinal +) condutividade elétrica, sódio e manganês ou vice-versa. Uma correlação positiva significativa foi observada entre a condutividade elétrica e os metais (sódio e manganês).

Com o resultado da CP2 caracteriza-se mais 19% das amostras da fase líquida pela diferença da composição iônica d'água que também é influenciada pelos fatores citados anteriormente. Os resultados obtidos também concordam com literatura, já que, as amostras d'água bruta caracterizam-se por possuir uma maior quantidade de sais.

Pelo resultado da composição das CPs a estrutura apresentada no gráfico dos escores CP1 versus CP2 será quanto mais deslocados para direita estiverem as amostras, maior os valores de pH, magnésio, cálcio, ferro, alumínio, sólidos totais e sólidos totais voláteis, e quanto mais para cima, maior os valores de condutividade elétrica, sódio e manganês. As amostras que estiverem mais deslocadas para a esquerda apresentarão maiores valores de sílica e sólidos totais fixos, e quanto mais para baixo, menores os valores de condutividade

elétrica, sódio e manganês no gráfico. Os resultados obtidos corroboram com (EGREJA FILHO et al., 1999; SENA et al., 2000), as projeções bidimensionais dos dados nas CPs mostram a distribuição das amostras e das variáveis no espaço original de dimensão “n” e indicam a contribuição de uma determinada variável na CP.

A Figura 3.12 apresenta o gráfico dos escores das amostras na componente principal 1 *versus* a componente principal 2 caracterizando 84% das amostras da fase líquida das ETAs conforme os parâmetros físico-químicos. Segundo SENA et al., (2000), o gráfico da componente principal 1 *versus* a componente principal 2 fornece uma janela privilegiada (estatisticamente) para observações dos pontos no espaço n-dimensional. Esses gráficos apresentam informações úteis sobre tendências e características da estrutura dos dados, tais como agrupamento de amostras e variáveis e caracterização das amostras que não se encaixam no modelo.

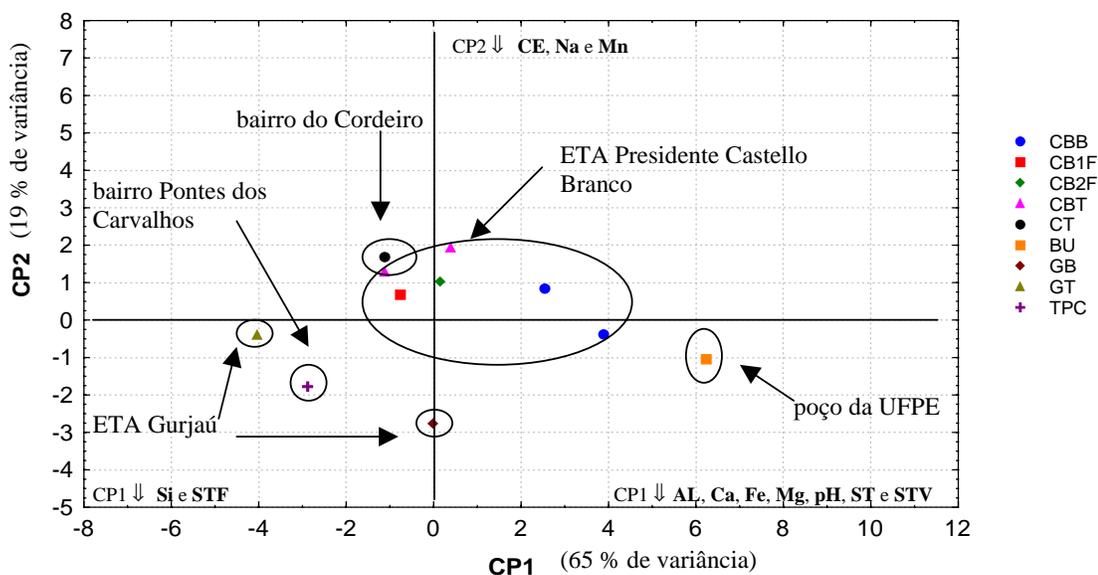


Figura 3.12 – Gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes principais da Análise de Componentes Principais para a caracterização da fase líquida de ETAs, segundo parâmetros físico-químicos e dos teores de metais. *ETA Presidente Castello Branco*: água bruta (CBB), entrada do filtro da 1ª fase (CB1F), entrada do filtro da 2ª fase (CB2F) e água tratada (CBT); *ETA Gurjaú*: água bruta (GB) e água tratada (GT); *bairro do Cordeiro*: água tratada (CT); *poço da UFPE*: água bruta (BU) e *bairro Pontes dos Carvalhos*: água tratada (TPC).

No gráfico dos escores das duas primeiras CPs observa-se a separação nítida do conjunto das amostras apresentando uma certa estrutura, refletindo as características dos tipos de mananciais que abastecem as ETAs e a água tratada produzida por estas.

No eixo horizontal, que corresponde aos escores dos objetos na CP1, pode-se observar que as amostras d'água bruta da ETA Presidente Castello Branco e d'água bruta do poço da UFPE estão à direita das demais, as amostras da entrada do filtro da 1ª fase, entrada do filtro da 2ª fase e água tratada da ETA Presidente Castello Branco; d'água tratada do bairro do Cordeiro e d'água bruta da ETA Gurjaú estão em posição intermediária no gráfico e, as amostras d'água tratada da ETA Gurjaú e d'água tratada do bairro de Pontes dos Carvalhos estão à esquerda das demais.

No eixo vertical da Figura 3.12 (escores na CP2), pode-se observar que as amostras água tratada da ETA Presidente Castello Branco e d'água tratada do bairro do Cordeiro estão à cima das demais, as amostras da entrada do filtro da 1ª fase, entrada do filtro da 2ª fase e d'água tratada da ETA Presidente Castello Branco; d'água tratada da ETA Gurjaú; d'água tratada do bairro de Pontes dos Carvalhos e d'água bruta do poço da UFPE estão em posição intermediária no gráfico e, a amostra d'água bruta da ETA Gurjaú esta à baixo das demais.

As amostras que apresentam valores intermediários dos escores no gráfico possuem suas composições relativamente semelhantes as demais amostras.

Observa-se claramente no gráfico que a amostra d'água bruta do poço da UFPE apresenta o maior escores positivo em CP1. Esta amostra caracterizava-se por apresentar 3,9 mg/L de ferro; 17,6 mg/L de cálcio; 10,4 g/L de magnésio e 5,5 mg/L de alumínio. Estes resultados mostram que a água utilizada no laboratório de Saneamento da UFPE destaca-se das demais águas analisadas por possuir grande dureza e conseqüentemente maior quantidade de sais dissolvidos, isto pode ser explicado devido ao fato do aquífero que abastece o poço da UFPE ser o aquífero Boa Viagem que apresenta água salinizada. Este aquífero é superficial pouco profundo e com horizontes muito permeável, por isso, muito vulnerável a contaminação por águas salinas (intrusão salina) e/ou poluídas (SECTMA, 1998).

As amostras d'água bruta da ETA Presidente Castello Branco apresentam altos escores positivos em CP1. As amostras d'água bruta caracterizavam-se por apresentar pH 6,6 - 6,9; 3,3 - 4,2 mg /L de ferro; 12,0 - 14,1 mg/L de cálcio e 6,1 - 6,5 g/L de magnésio. A amostra d'água bruta coletada no mês de setembro de 2000 também continha 360,2 mg/L de sólidos totais; 47,7% (dos ST) de sólidos totais voláteis; 4,5 mg/L de alumínio e 31,7 mg/L de sódio.

A amostra d'água bruta coletada no mês de maio de 2000 também tinha 260 σ S/cm de condutividade elétrica e 0,4 mg/L de manganês. Observa-se que a ETA capta água de mananciais superficiais com grande quantidade de matéria orgânica e concentração de sais, isto pode ser devido a alto grau de poluição que sofrem os rios da RMR em Pernambuco pela atividade antrópica.

As amostras d'água tratada da ETA Presidente Castello Branco apresentam os maiores escores positivos em CP2. As amostras d'água tratada caracterizavam-se por possuir 261 - 317 σ S/cm de condutividade elétrica; 28,1 – 28,7 mg/L de sódio e 0,3 – 0,4 mg/L de manganês.

A amostra d'água tratada do bairro do Cordeiro apresenta alto escores positivo em CP2. Esta amostra caracterizava-se por apresentar 0,5 mg/L de manganês e 26,3 mg/L de sódio. O resultado mostra que durante o trajeto d'água da ETA Presidente Castello Branco ao bairro do Cordeiro houve uma diminuição no teor de sódio e um aumento do teor de manganês.

A amostra d'água bruta da ETA Gurjaú apresenta o maior escores negativo em CP2. Ela caracterizava-se por apresentar 55,9 μ S/cm de condutividade elétrica comprovando que a água captada por esta ETA possui uma baixa concentração de sais portanto de melhor qualidade que as demais água brutas.

A amostra d'água tratada da ETA Gurjaú apresenta o maior escores negativo em CP1. Esta amostra caracteriza-se por apresentar 68,7% (dos ST) de sólidos totais fixos e 5,6 mg/L de silício.

A amostra d'água tratada do bairro de Pontes dos Carvalhos apresentava maior os teores das variáveis 59,4% (dos ST) de sólidos totais fixos e 6,3 mg/L de silício. O resultado mostra que durante o percurso d'água da ETA Gurjaú ao bairro de Pontes dos Carvalhos houve um aumento no teor de silício e uma diminuição no teor de sólidos fixos.

Pelos resultados obtidos com a caracterização físico-química para água bruta e água tratada, verifica-se que os teores de metais pesados (níquel, cobre, zinco, cromo e chumbo) apresentavam-se abaixo dos valores limites de detecção do método analítico (0,05 mg/L), atendendo ao padrão de potabilidade, em mg/L, especificado pela Portaria n^o 1469 (29/12/2000) do Ministério da saúde, em termos dos teores de cobre (2,0), cromo (0,05) e zinco (5,0), mostrando que não apresenta um grande risco de contaminação para população por metais pesados. Mas o mesmo não se pode afirmar a respeito da concentração de chumbo, já que, a Portaria n^o 1469 específica como valor máximo permitido 0,01 mg/L de Pb para representar risco à saúde e o limite de detecção do aparelho estava acima deste valor.

Os teores de alumínio, ferro e manganês nas amostras d'água bruta e tratada apresentavam-se acima dos limites, em mg/L, especificados para manancial (Classe 1) pela Resolução CONAMA nº 20 (18/06/86): Al (0,1); Fe (0,3) e Mn (0,1); e pelo padrão de potabilidade, em mg/L, conforme especificado pelo Ministério da saúde: Al (0,2); Fe (0,3) e Mn (0,1). Enquanto o teor de sódio da água tratada apresentava-se de acordo com o padrão de potabilidade 200 mg/L de Na.

Na literatura, encontra-se que a transferência de alumínio, ferro, manganês e outros elementos para água tratada na ETA, pode estar ligada ao longo tempo de residência do lodo no decantador, onde ocorreria processo anaeróbio da degradação da matéria orgânica e consequentemente, uma dissolução ácida dos metais. Os baixos valores de pH encontrado da água tratada colaboram e também confirmam a ocorrência de processo anaeróbio e a dissolução de metais do lodo decantador. Acredita-se que uma correção do pH da água bruta e o aumento na frequência de limpeza dos decantadores, diminuiriam as concentrações desses metais na água tratada e solucionaria este problema.

3.3.2. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização da Fase Sólida das ETAs

A matriz total dos dados representada no espaço tem dimensões de 9 (nove) amostras por 17 (dezessete) parâmetros. Na ACP dos lodos das ETAs não foram incluídos os resultados dos teores de níquel e chumbo por apresentarem várias amostras com valores abaixo dos limites de detecção do método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Os resultados obtidos na caracterização físico-química da fase sólida das ETAs RMR no período em estudo utilizado na ACP mostra-se nas Tabelas 3.3 a 3.5.

Tabela 3.3 - Características físicas da fase sólida das ETAs da RMR

ETAs		PARÂMETROS							
		pH	CE (σ S/cm)	U65	U105 (% de MU)	ST	STF (% de ST)	STV	
ETA Presidente Castello Branco	decantador	5,8 – 6,7	171 - 1321	88,2 – 90,8	88,4 – 91,2	8,78 – 11,6	70,6 – 77,3	22,7 – 29,4	
	água de lavagem do filtro	6,4 – 7,3	248 - 304	99,8 – 99,9	99,8 – 99,9	0,1 – 0,2	66,8 – 69,8	30,2 – 33,2	
ETA Gurjaú	água de lavagem do decantador	4,1 – 4,9	182,5 - 616	95,4 – 97,2	95,5 – 97,2	2,8 – 4,5	77,9 – 81,1	18,9 – 22,1	
	água de lavagem do filtro	4,7 – 5,9	62,3 – 136,3	99,8 – 99,9	99,8 – 99,9	0,1 – 0,2	68,5 – 71,1	28,9 – 31,5	
ETA Suape	água de lavagem do decantador	6,2	626	93,3	93,4	6,6	74,7	25,3	

Tabela 3.4 - Concentração de metais da fase sólida das ETAs da RMR

ETAs		Parâmetros							
		Na	Fe	Ca	Mg	Si	Al	Mn	
		(g/kg de lodo seco)							
ETA Presidente Castello Branco	decantador	1,1 – 1,5	41,2 – 64,5	2,0 – 2,4	0,9 – 1,1	0,1 – 0,2	56,1 – 128,0	0,2 – 7,8	
	água de lavagem do filtro	5,2 – 22,4	32,4 – 44,7	5,8 – 9,4	3,6 – 6,3	0,1 – 0,3	52,9 – 120,8	0,1 – 0,3	
ETA Gurjaú	água de lavagem do decantador	1,1 – 1,3	36,0 – 55,0	1,4 – 2,2	0,9 – 1,1	0,2	84,3 – 110,4	0,04 – 0,1	
	água de lavagem do filtro	0,4 – 5,7	42,8 – 45,8	3,3 – 8,1	3,3 – 3,8	0,1 – 0,2	57,8 – 107,6	0,05 – 0,2	
ETA Suape	Água de lavagem do decantador	0,70	6,5	2,0	0,9	0,2	39,6	0,2	

Tabela 3.5 - Concentração de metais pesados da fase sólida das ETAs da RMR

ETAs		PARÂMETROS		
		Cu	Zn	Cr
		(mg/kg de lodo seco)		
ETA Presidente Castello Branco	decantador	10,0 – 11,3	12,0 – 86,8	74,0 – 74,8
	água de lavagem do filtro	N.D. – 35,1	28,0 – 39,2	N.D. – 105,0
ETA Gurjaú	água de lavagem do decantador	8,0 – 12,0	15,4 – 18,0	44,5 – 56,0
	água de lavagem do filtro	N.D. – 30,0	N.D. – 24,0	N.D. – 68,0
ETA Suape	água de lavagem do decantador	18,0	16,0	68,0

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Como no estudo anterior, realizou-se a ACP dos dados das amostras de lodos e os gráficos dos escores obtidos estão apresentados nas Figuras 3.13 e 3.14 que retêm 81% da variância total dos dados nas três primeiras componentes.

Na CP1 está contida 45% da informação original que pode ser representada matematicamente por uma combinação linear de todos os pesos:

$$\begin{aligned}
 \text{CP1} = & - 0,10 \text{ pH} + 0,25 \text{ CE} - 0,31 \text{ U65} - 0,31 \text{ U105} + 0,31 \text{ ST} + 0,29 \text{ STF} - 0,29 \text{ STV} - \\
 & 0,24 \text{ Na} - 6,82 \times 10^{-02} \text{ Fe} - 0,32 \text{ Ca} - 0,32 \text{ Mg} + 4,01 \times 10^{-02} \text{ Si} + 0,11 \text{ Al} + 0,21 \text{ Mn} - \\
 & 0,32 \text{ Cu} + 0,11 \text{ Zn} - 0,20 \text{ Cr}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

A análise dos pesos revela que a CP1 é uma combinação linear, em iguais proporções, das variáveis (– 0,32) cálcio, (– 0,32) magnésio, (– 0,32) cobre, (0,31) sólidos totais, (– 0,31) umidade a 65°C, (– 0,31) umidade a 105°C, (0,29) sólidos totais fixos e (– 0,29) sólidos totais voláteis. Uma correlação positiva significativa foi observa-se entre os sólidos totais e sólidos totais fixos e, negativa destas variáveis e os sólidos totais voláteis, a umidade a 65°C e 105°C e os metais (cálcio, cobre e magnésio). Observa-se que nesta componente quanto maior o valor da projeção (escores) da amostra, maiores as concentrações do conjunto das

variáveis (com sinal +) sólidos totais e sólidos totais fixos, e menor as concentração dos parâmetros sólidos totais voláteis, umidade, cálcio, magnésio e cobre (com sinal -) ou vice-versa.

A CP1 caracteriza 45% das amostras pelas variáveis relacionadas com a matéria orgânica e os metais; os coeficientes destes parâmetros são influenciados pelas características d'água bruta que chega à ETA que produz lodos com diferentes características e pela unidade de tratamento (decantador ou filtro) que tem por finalidade a remoção das impureza que estão em suspensão e dissolvida no meio líquido nas diversas etapas. Pode-se dizer que os resultados da CP1 estão de acordo com a literatura, pois mostrou que a característica do lodo do decantador das ETAs esta relacionada com a quantidade de sólidos totais e os sólidos totais fixos removido da água bruta e acumulado nesta unidade de tratamento. Enquanto que o lodo do filtro caracteriza-se por apresentar maior umidade e conseqüentemente menor quantidade de sólidos totais em relação ao lodo do decantador, pois nesta unidade fica retida as partículas ou impurezas leves que não sedimentaram no decantador. Observa-se que o lodo do filtro também apresentava grande concentração de cálcio e magnésio que provavelmente é devido a qualidade da água bruta (dureza alta) e, o metal cobre que pode ser devido a água bruta e/ou a este contaminante estar presente no produto químico utilizado no tratamento.

A ACP foi realizada novamente nos 55% dos dados restantes e obteve-se na CP2 explicados 23% da informação original, e pode ser apresentada matematicamente como se segue:

$$\begin{aligned} \mathbf{CP2} = & - 0,31 \text{ pH} - 0,30 \text{ CE} + 0,16 \text{ U65} + 0,17 \text{ U105} - 0,17 \text{ ST} + 0,14 \text{ STF} - 0,14 \text{ STV} - \\ & 0,21 \text{ Na} - 0,18 \text{ Fe} - 0,18 \text{ Ca} - 0,17 \text{ Mg} + 0,11 \text{ Si} - 0,11 \text{ Al} - 0,39 \text{ Mn} - 0,14 \text{ Cu} - \\ & 0,42 \text{ Zn} - 0,34 \text{ Cr.} \end{aligned} \quad (4)$$

A análise dos pesos mostra que a CP2 é constituída principalmente pela variável (- 0,42) zinco e em menores proporções pelo (- 0,39) manganês, (- 0,34) cromo, (- 0,31) pH e (- 0,30) condutividade elétrica. Quanto maior o valor do escores da amostra nesta componente, maiores as concentrações dos parâmetros (com sinal -) condutividade elétrica, manganês, zinco, cromo e pH ou vice-versa.

A CP2 caracteriza 23% das amostras de lodo das ETAs pelos metais e salinidade (composição iônica), estas variáveis também são influenciadas pelos fatores já citados.

As variáveis destacadas pelas CPs e a estrutura no gráfico dos escores mostram que as amostras quanto mais deslocados para esquerda, maior os valores de cálcio, cobre, magnésio, sólidos totais voláteis e umidade e, quanto mais para baixo, maior os valores de condutividade elétrica, cromo, manganês e zinco. As amostras que estão mais deslocadas para direita apresentam maior os valores de sólidos totais e sólidos totais fixos, e quanto mais para cima, menor as concentrações de condutividade elétrica, cromo, manganês e zinco.

A Figura 3.13 apresenta o gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes que caracteriza 68% das amostras de lodo das ETAs.

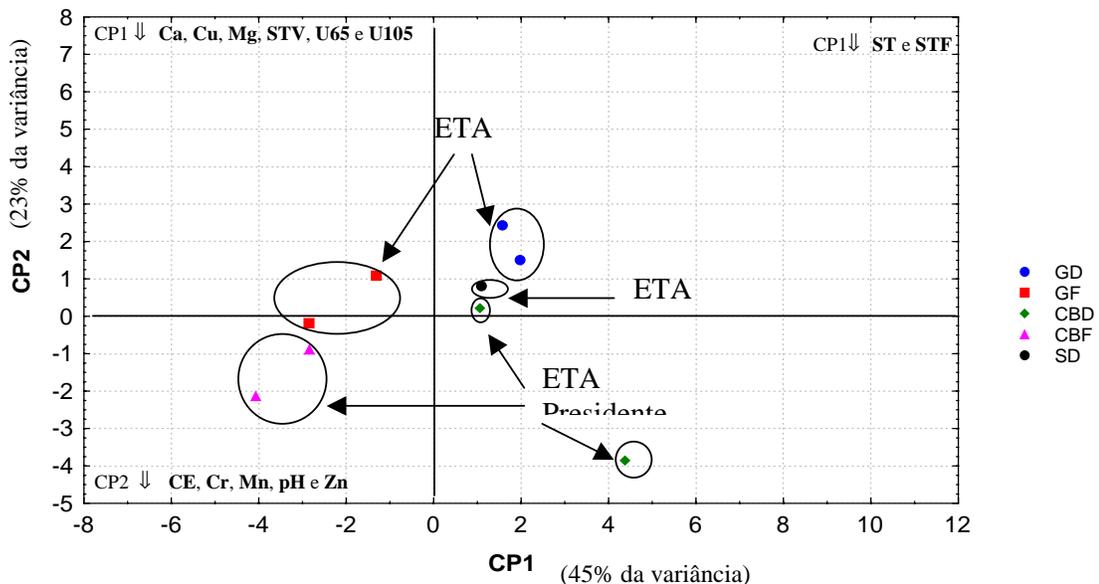


Figura 3.13 – Gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes principais da Análise de Componentes Principais para a caracterização da fase sólida de ETAs, segundo parâmetros físico- químicos e dos teores de metais. *ETA Presidente Castello Branco*: decantador (CBD) e filtro (CBF); *ETA Gurjaú*: decantador (GD) e filtro (GF) e *ETA Suape*: decantador (SD).

Pela estrutura apresentada no gráfico, observa-se a separação do conjunto de dados das amostras em duas categorias bem distintas entre si, evidenciando as características dos lodos do decantador e do filtro de cada ETA.

Na CP1 (eixo horizontal) observar-se que a amostra de lodo do decantador da ETA Presidente Castello Branco (09/2000) está à direita das demais, as amostras de lodo do decantador da ETA Gurjau, da ETA Suape e da ETA Presidente Castello Branco (05/2000) e, do filtro da ETA Gurjau e da ETA Presidente Castello Branco (09/2000) estão em posição intermediária no gráfico e, a amostra de lodo do filtro da ETA Presidente Castello Branco (05/2000) está à esquerda das demais amostras.

A CP2 (eixo vertical) mostra que a amostra de lodo do decantador da ETA Gurjau estão à cima das demais no gráfico, as amostras de lodo do decantador da ETA Suape e da ETA Presidente Castello Branco (05/2000) e, do filtro da ETA Gurjau e da ETA Presidente Castello Branco (09/2000) em posição intermediária e, as amostras de lodo do decantador (09/2000) e do filtro (05/2000) da ETA Presidente Castello Branco à baixo das demais amostras.

A amostra de lodo do decantador da ETA Presidente Castello Branco coletada no mês de setembro de 2000 apresenta na Figura 3.13 com maior escores positivo em CP1 e negativo em CP2. Esta amostra caracterizava-se por apresentar pH 6,7; 1.321 σ S/cm de condutividade elétrica; 11,6% (de MU) de sólidos totais; 77,3% (dos ST) de sólidos totais fixos; 7,8 g/kg (de MS) de manganês; 86,8 mg/kg (de MS) de zinco e 74,8 mg/kg (de MS) de cromo. Comparando o resultado obtido nesta amostra com da água bruta coletada no mês de setembro utilizada na ETA Presidente Castello Branco, observa-se que a água destacava-se por apresentar maior quantidade de impurezas e, confirma o acúmulo de metais traço (zinco e cromo) e a influencia d'água na característica do lodo do decantador. Observa-se também que o teor de sólidos totais encontrado era maior do que o descrito na literatura como possível causador de condições anaeróbias no decantador e necessário a dissolução de metais na água tratada. Segundo RICHTER (2000), no tanque de decantação o conteúdo de sólidos totais varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1% a 4% de MU). Confirmou-se o resultado obtido na fase líquida (grande teor de metais na água tratada) e reafirma-se a necessidade da correção do pH d'água, além do aumento na frequência da limpeza desta unidade.

As amostras de lodo do filtro da ETA Presidente Castello Branco apresentam no gráfico, maior escores negativo em CP1 e alto escores negativo em CP2, caracterizam-se por

apresentar pH 6,4 - 7,3; 248 - 304 σ S/cm de condutividade elétrica; 99,8% - 99,9% (de MU) de umidade a 65°C e 105°C; 30,2% - 33,2% (dos ST) de sólidos totais voláteis; 5,8 - 9,4 g/kg (de MS) de cálcio; 3,6 - 6,3 g/kg (de MS) de magnésio; 0,1 - 0,3 g/kg (de MS) de manganês; 28,0 - 39,2 mg/kg (de MS) de zinco; 35,1 mg/kg (de MS) de cobre e 105 mg/kg (de MS) de cromo. Observa-se que os resultados obtidos na caracterização do lodo do filtro estão de acordo com a literatura, pois segundo RICHTER (2000), nos lodos de ETAs os compostos voláteis variam 20% - 35% (dos ST), o valor de pH é próximo ao neutro e na água de lavagem dos filtros o conteúdo de sólidos totais varia entre 40 a 1.000 mg/L (0,001% a 0,1% de MU).

As amostras de lodo do decantador da ETA Gurjaú apresentam-se na Figura 3.13 com altos escores positivos em CP1 e em CP2. Estas amostras podem ser caracterizadas por apresentar pH 4,1 - 4,9; 182,5 - 616 σ S/cm de condutividade elétrica; 2,8% - 4,5% (de MU) de sólidos totais; 77,9% - 81,1% (dos ST) de sólidos totais fixos; 0,04 - 0,1 g/kg (de MS) de manganês; 18,0 - 15,4 mg/kg (de MS) de zinco e 44,5 - 56,0 mg/kg (de MS) de cromo. Os resultados obtidos mostram que o lodo do decantador da ETA Gurjaú possuía menor quantidade de impurezas em relação as demais ETAs e confirma que a água bruta utilizada nesta ETA era de melhor qualidade. Observa-se também que o teor de sólidos totais e o valor de pH do lodos nesta ETA favorecem a ocorrência de processos anaeróbios no decantador e a dissolução de metais do lodo para água tratada, e confirma mais uma vez os resultados obtidos na fase líquida.

As amostras de lodo do filtro da ETA Gurjaú apresentam-se no gráfico com escores negativos em CP1 e caracterizam-se por apresentar 99,8% - 99,9% (de MU) de umidade a 65°C e 105°C; 28,9% - 31,5% (dos ST) de sólidos totais voláteis; 3,3 - 8,1 g/kg (de MS) de cálcio; 3,3 - 3,8 g/kg (de MS) de magnésio e 30,0 mg/kg (de MS) de cobre. Observa-se que o lodo do filtro desta ETA também possuía baixa quantidade de impurezas em relação aos lodos das demais ETAs.

A amostra de lodo do decantador da ETA Suape apresenta-se no gráfico com escores positivo em CP1 e caracteriza-se por apresentar 6,6% (de MU) de sólidos totais e 74,7% (dos ST) de sólidos totais fixos. Os teores de sólidos encontrados neste lodo mostram que o manancial utilizado por esta ETA apresenta qualidade inferior (mais impurezas) em comparação da ETA Gurjaú e que podem estar ocorrendo processos anaeróbios neste decantador devido ao acúmulo do lodo.

Realizou-se a ACP nos 32% dos dados restantes e na terceira componente principal (CP3) são retidos 13% da informação original e os pesos podem ser assim representados matematicamente:

$$\begin{aligned} \text{CP3} = & -0,26 \text{ pH} + 3,81 \times 10^{-02} \text{ CE} + 0,17 \text{ U65} + 0,17 \text{ U105} - 0,17 \text{ ST} - 5,19 \times 10^{-02} \text{ STF} + \\ & 5,19 \times 10^{-02} \text{ STV} - 0,25 \text{ Na} + 0,41 \text{ Fe} - 8,22 \times 10^{-02} \text{ Ca} - 2,51 \times 10^{-03} \text{ Mg} + 0,42 \text{ Si} + \\ & 0,59 \text{ Al} + 0,12 \text{ Mn} + 0,21 \text{ Cu} + 0,12 \text{ Zn} + 5,89 \times 10^{-02} \text{ Cr}. \end{aligned} \quad (5)$$

Na CP3 os maiores pesos são atribuídos à variável alumínio (0,59) e em menores proporções por silício (0,42), ferro (0,41) e sódio (-0,25). Observa-se uma correlação positiva significativa entre o alumínio, o ferro e o silício, e negativa do sódio e os demais metais desta componente. Nesta componente quanto maior o valor dos escores da amostra, maiores as concentrações alumínio, ferro e silício, e menor a concentração da variável (com sinal -) sódio ou vice-versa.

A CP3 classifica 13% das amostras de lodo de ETAs em termos de metais. Observa-se que o resultado obtido nesta componente esta de acordo com os resultados obtido na fase líquida e na literatura, pois caracteriza o lodo segundo os elementos presentes no coagulante utilizado e pela qualidade da água bruta.

Nesta componente quanto mais para baixo estiverem as amostras no gráfico dos escores, maior a concentração de sódio, e quanto mais para cima, maior os valores de alumínio, ferro e silício.

A Figura 3.14 apresenta o gráfico dos escores dos objetos na componente principal 1 *versus* a componente principal 3. A terceira componente caracteriza 13% das amostras de lodo das ETAs.

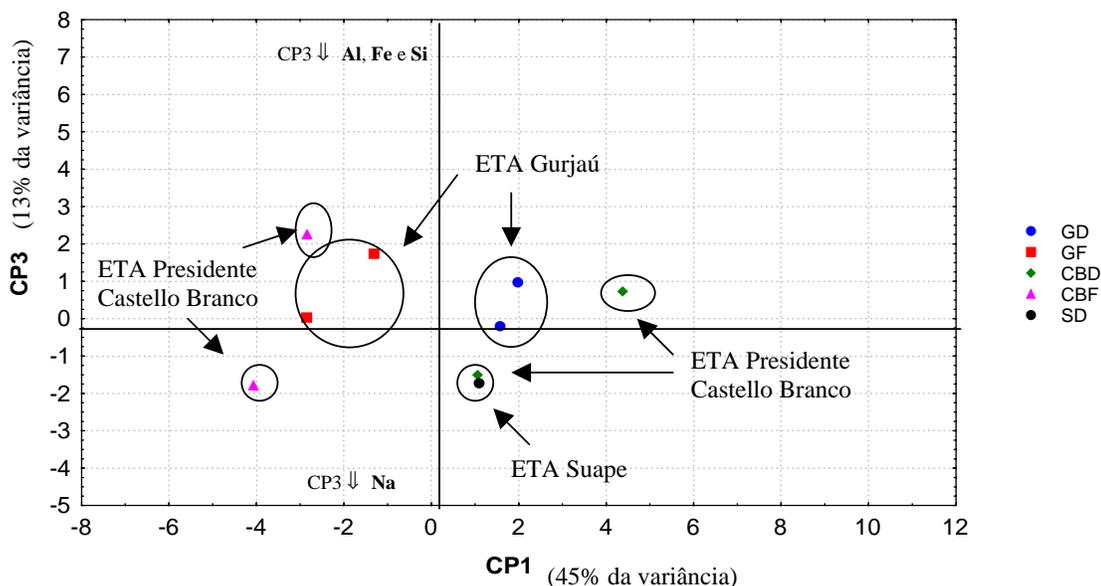


Figura 3.14 – Gráfico dos escores dos objetos da primeira e terceira CPs da ACP para a caracterização da fase sólida de ETAs, segundo parâmetros físico-químicos e dos teores de metais. *ETA Presidente Castello Branco*: decantador (CBD) e filtro (CBF); *ETA Gurjaú*: decantador (GD) e filtro (GF) e *ETA Suape*: decantador (SD).

Na Figura 3.14, observa-se que na CP3 (eixo vertical) as amostras de lodo do decantador e do filtro da ETA Presidente Castello Branco (09/2000) e, do decantador e do filtro da ETA Gurjaú (05/2000) estão à cima das demais no gráfico, as amostras de lodo do decantador e do filtro da ETA Gurjaú (09/2000) em posição intermediária e, as amostras de lodo do decantador da ETA Suape, do decantador e do filtro da ETA Presidente Castello Branco (05/2000) à baixo das demais amostras.

A amostra de lodo do decantador da ETA Presidente Castello Branco, de setembro de 2000, apresenta-se no gráfico com alto escore positivo em CP3 e também pode ser caracterizada por apresentar 128,0 g/kg (de MS) de alumínio; 64,5 g/kg (de MS) de ferro, 0,2 mg/kg (de MS) de silício. A amostra de lodo do decantador, de maio de 2000, apresenta-se no gráfico com maior escore negativo em CP3 e também caracteriza-se por apresentar 56,1 g/kg (de MS) de alumínio; 41,2 g/kg (de MS) de ferro e 0,1 mg/kg (de MS) de silício.

A amostra de lodo do filtro da ETA Presidente Castello Branco coletada no mês de setembro de 2000 apresenta-se na Figura 3.13 com maior escore positivo em CP3 e também pode ser caracterizada por apresentar 120,8 g/kg (de MS) de alumínio; 44,7 g/kg (de MS) de

ferro e 0,3 mg/kg (de MS) de silício. Enquanto que a amostra de lodo do filtro de maio de 2000 apresenta-se no gráfico com maior escores negativo em CP3 e também pode ser caracterizada por apresentar 22,4 g/kg (de MS) de sódio. A amostra de lodo do filtro do mês de maio de 2000 destaca-se das demais amostras pela grande concentração de sódio, provavelmente é devido a qualidade d'água bruta que é essencial para a característica dos lodos das ETAs.

Observa-se que os resultados obtidos na caracterização das amostras de lodo do decantador e filtro da ETA Presidente Castello Branco no mês de setembro de 2000 são os mais altos em relação as demais amostras e, estão de acordo com os resultados obtido na fase líquida, já que, o teor destes elementos estavam em grande concentração na água bruta e com a adição do coagulante (sulfato de alumínio e o elemento ferro como um dos contaminantes do produto comercial) serão removido nas etapas de tratamento. Os resultados obtidos também mostraram que as concentrações de alumínio, ferro e silício nos lodo do decantador e filtro da ETA Presidente Castello Branco estavam bem próximos sendo praticamente os mesmos nos meses estudados.

A amostra de lodo do decantador da ETA Gurjaú, de maio de 2000, apresenta-se na no gráfico com altos escores negativo em CP3 e também se caracteriza por apresentar 45,8 g/kg (de MS) de ferro; 0,2 mg/kg (de MS) de silício e 110,4 g/kg (de MS) de alumínio.

A amostra de lodo do filtro da ETA Gurjaú, de maio de 2000, apresenta-se na no gráfico com altos escores negativo em CP3 e também pode ser caracterizada por apresentar 55,0 g/kg (de MS) de ferro; 0,2 mg/kg (de MS) de silício e 107,6 g/kg (de MS) de alumínio.

Observa-se que as concentrações de alumínio, ferro e silício nas amostras de lodo do decantador e filtro da ETAs variaram conforme o mês em estudo (maio ou setembro de 2000) mostrando que ocorria uma mudança na característica da água bruta provavelmente devido as variações sazonais como a precipitação pluviométrica e as características físicas, químicas, biológicas e hidráulicas do manancial.

Os teores de metais pesados nos lodos do decantador e do filtro das ETAs pesquisadas apresentavam-se abaixo dos valores, em mg.kg^{-1} matéria seca, especificado como proibitivos para a aplicação agrícola do lodo de esgoto doméstico pelas legislações vigentes no Brasil, tais como, do Paraná: Zn (2.500), Cu (1.000), Ni (300), Cr (1000) e Pb (750), e de São Paulo: Zn (7500), Cu (4300), Ni (420) e Pb (840).

A razão SSV/SST foi de aproximadamente 20% no lodo do decantador e 30% no lodo do filtro das ETAs durante o período de estudo e estão apresentados em Apêndice (Tabela 2). Esses lodos apresentavam uma grande quantidade de sólidos inertes confirmando sua característica de lodo químico.

3.3.3. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização da Fase Líquida das ETEs

A matriz total dos dados representada no espaço tem dimensões de 20 (vinte) amostras por 13 (treze) parâmetros. Na ACP das amostras de esgoto das ETEs não foram incluídos os resultados dos teores de níquel, chumbo, zinco, cobre e níquel por apresentarem várias amostras com valores abaixo dos limites de detecção do método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Nas Tabelas 3.6 e 3.7 estão apresentados os resultados obtidos na caracterização físico-química da fase líquida das ETEs da RMR no período em estudo utilizado na ACP.

Tabela 3.6 - Características físico-químicas da fase líquida das ETEs anaeróbias e aeróbia da RMR

ETEs		PARÂMETROS						
		pH	CE (σS/cm)	DQO (mg de O ₂ /L)	ST (mg/L)	STF (% de ST)	STV	
ETE Mangueira	Afluente do reator UASB	6,8 – 7,4	388 – 676	135,2 – 203,2	403 – 600,5	74,6 – 77,2	22,8 – 25,4	
	efluente da lagoa de polimento	7,3	547	151,2	436	72,2	27,8	
ETE Vila São João	afluente	7,3	348	250,3	587	73,3	26,7	
	efluente do reator UASB	7,4	851	151,3	266	66,5	33,5	
ETE Cabo	afluente	6,2 – 6,8	183,4 – 466	96,4 – 619,1	241- 555	30,4 – 51,3	48,7 – 55,1	
	efluente	6,8 – 7,1	246 – 408	179,9 – 394,4	330 – 505	35,8 – 52,2	47,8 – 64,2	
ETE Cabanga	afluente	6,8	894	103,6	552,5	85,2	14,8	

Tabela 3.7 - Características dos teores de metais da fase líquida das ETEs anaeróbias e aeróbia da RMR

ETEs		PARÂMETROS							
		Na	Fe	Ca	Mg	Si	Al	Mn	
ETE Mangueira	afluente	1,44 – 104,7	0,1 – 3	0,9 – 38,6	0,1 – 11,9	N.D. – 7,8	N.D. – 0,7	0,1 – 3,4	
	efluente do reator UASB	65,9 – 93,7	3,2 – 3,7	33,4 – 47,7	8,3 – 12,1	0,3 – 8,0	0,1 – 0,7	3,2 – 3,4	
	efluente da lagoa de polimento	87 – 103,6	0,5 – 1,7	50,4 – 54,3	N.D. – 11,5	4,6 – 6,5	0,2 – 0,7	0,3 – 1,7	
ETE Vila São João	afluente	29,4	6,7	40,6	5,3	3,6	0,4	12,2	
	efluente do reator UASB	81,7	2,1	45	6,5	5,8	0,5	1,8	
ETE Cabo	Afluente	30,9 – 77,3	0,9 – 2,8	12,2 – 17,4	3,3 – 4,8	2,6 – 3,9	N.D.	0,9 – 5,4	
	efluente	32,8 – 45,2	0,7 – 1,4	9,1 – 16,9	2,9 – 4,5	0,1 – 3,8	N.D. – 0,5	0,6 – 2,2	
ETE Cabanga	Afluente	116,8	1,4	50,9	9,9	0,4	N.D.	1,49	

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal)

afluente e efluente da ETE Cabo a em posição intermediária e, as amostras do efluente da lagoa de polimento da ETE Mangueira à baixo das demais amostras.

A amostra do afluente da ETE Mangueira coletada no mês de setembro de 2000 diferencia das outras pelos altos escores positivos em CP1. Esta amostra caracteriza-se por apresentar 104,7 mg/L de sódio; 34,4 mg/L de cálcio, 11,9 mg/L de magnésio e 7,8 mg/L de silício. Em contraste, a amostra do afluente da ETE Mangueira, de maio de 2000, apresenta-se no gráfico com altos escores negativo em CP1 e pode ser caracterizada por conter 1,44 mg/L de sódio; 0,9 mg/L de cálcio e 0,1 mg/L de magnésio.

A amostra do efluente do reator da ETE Mangueira, de setembro de 2000, apresenta-se no gráfico com maior escores positivo em CP1. Esta amostra caracterizou-se por apresentar pH 7,3; 547,0 σ S/cm de condutividade elétrica; 72,2% (dos ST) de sólidos totais fixos; 93,7 mg/L de sódio; 47,7 mg/L de cálcio, 12,1 mg/L de magnésio e 8,0 mg/L de silício.

Na CP1, as demais amostras da fase líquida da ETE Mangueira apresentam-se no gráfico com escores positivo em posição intermediária e caracterizam-se por apresentarem pH 6,83 – 8,11; 388,0 – 830,0 σ S/cm de condutividade elétrica; 74,6% – 77,6% (dos ST) de sólidos totais fixos; 32,0 – 103,6 mg/L de sódio; 28,5 – 54,3 mg/L de cálcio; 6,3 – 11,5 mg/L de magnésio e 0,28 – 7,1 mg/L de silício. Pode-se observar ainda que as amostras do afluente e efluente do reator da ETE Mangueira, coletadas no mês de agosto de 2000, apresentam-se no gráfico com altos escores positivos em CP2 e podem ser caracterizadas por apresentarem 3,0 e 3,7 mg/L de ferro e 3,4 e 3,4 mg/L de alumínio, respectivamente.

Pelo resultado obtido na caracterização da fase líquida da ETE Mangueira observa-se que provavelmente a água de abastecimento utilizada por esta comunidade possui uma grande quantidade de sais e o bairro por ser de classe social baixa, a estação receber águas servidas com grande quantidade de areia proveniente dos poços de visitas quebrados e/ou dos resíduos sólidos adicionados nas galerias de coleta de esgoto pelos moradores.

A amostra do afluente da ETE Vila São João apresenta o maior escores positivo na CP2 e com escores positivo em posição intermediária na CP1. Esta amostra caracteriza-se por apresentar 6,7 mg/L de ferro; 12,2 mg/L de alumínio; pH 7,3; 348 σ S/cm de condutividade elétrica; 73,3% (dos ST) de sólidos totais fixos; 29,4 mg/L de sódio; 40,6 mg/L de cálcio; 5,3 mg/L de magnésio e 3,6 mg/L de silício.

A amostra do efluente da ETE Vila São João esta no gráfico em posição intermediária com escores positivo na CP1 e negativo na CP2, e caracteriza-se por apresentar pH 7,5; 851

$\mu\text{S/cm}$ de condutividade elétrica; 66,5% (dos ST) de sólidos totais fixos; 81,7 mg/L de sódio; 45,0 mg/L de cálcio; 6,5 mg/L de magnésio; 5,8 mg/L de silício; 2,1 mg/L de ferro e 1,8 mg/L de alumínio.

Compararam-se as características físico-químicas das amostras da fase líquida da ETE Vila São João com da ETE Mangueira, e observou-se que possuíam composições muito próximas uma da outra (exceto o teor de ferro e alumínio que era maior) provavelmente isto deve-se aos fatores já citados anteriormente.

A amostra do afluente da ETE Cabanga esta no gráfico em posição intermediária com escores positivo na CP1 e negativo na CP2, e caracteriza-se por apresentar pH 6,8; 894 $\sigma\text{S/cm}$ de condutividade elétrica; 85,2% (dos ST) de sólidos totais fixos; 116,8 mg/L de sódio; 50,9 mg/L de cálcio; 9,9 mg/L de magnésio; 0,4 mg/L de silício; 1,4 mg/L de ferro e 1,5 mg/L de alumínio.

O resultado da caracterização físico-química do afluente da ETE Cabanga mostra que esta estação receber águas servidas com menor quantidade de areia provavelmente por receber esgoto de bairros comerciais (Recife, São José, Santo Antônio e Boa Vista) e de classe social alta (Madalena e Boa Viagem), embora receba também efluente de bairros pobres (Afogados e Santo Amaro). Observa-se também pelo resultado obtido que os moradores destes bairros provavelmente recebem água de abastecimento com características semelhante das ETEs citadas anteriormente, mas diferem no teor de ferro e alumínio que eram menor.

As amostras do afluente da ETE Cabo apresentam-se na Figura 3.15 com escores negativo na CP1 e caracterizam-se por apresentarem 48,7% – 69,6% (dos ST) de sólidos totais voláteis. Pode-se observar ainda que as amostras do afluente da ETE apresenta-se no gráfico com escores positivo na CP2 e também podem ser caracterizadas por apresentarem 1,1 – 2,8 mg/L de ferro e 0,9 – 5,4 mg/L de alumínio. A amostra do afluente da ETE coletada em 24 de agosto de 2000 apresenta-se no gráfico com escores negativo na CP2 e caracteriza-se por apresentar 0,9 mg/L de ferro e 1,3 mg/L de alumínio.

Observa-se na caracterização físico-química da fase líquida da ETE Cabo que é muito diferente das demais ETEs, provavelmente por que esta estação recebe esgoto de um hotel de 5 (cinco) estrelas, onde a água de abastecimento possui uma menor quantidade sais e o esgoto recebe uma pequeno a quantidade de material inerte.

Fez-se uma nova ACP nos 31% dos dados restantes e na CP3 são retidos 15% da informação original e os pesos podem ser assim representados:

$$\text{CP3} = - 0,17 \text{ pH} + 0,18 \text{ CE} + 0,41 \text{ DQO} + 0,37 \text{ ST} - 0,10 \text{ STF} + 0,10 \text{ STV} + 0,21 \text{ Na} + 3,95 \times 10^{-03} \text{ Fe} - 3,49 \times 10^{-02} \text{ Ca} + 2,59 \times 10^{-02} \text{ Mg} + 0,14 \text{ Si} + 4,27 \times 10^{-02} \text{ Al} + 0,75 \text{ Mn.} \quad (8)$$

Na CP3 os maiores pesos são atribuídos à variável manganês (0,75) e em menores proporções à demanda química de oxigênio (0,41) e sólidos totais (0,37). Nesta componente, quanto maior as concentrações destas variáveis (com sinal +), maior o valor da amostra no gráfico dos escores, ou vice-versa. Nota-se uma correlação positiva entre as variáveis destacadas pela CP3, pois provavelmente as quantidades de manganês e dos sólidos totais contribuíram para a elevação ou diminuição da DQO.

A CP3 caracteriza 15% das amostras da fase líquida das ETEs em termos de matéria orgânica. Nesta componente, as variáveis que se destacam separam as amostras da fase líquida (afluente e efluente) das ETEs pela diferença de concentração de sólidos totais e demanda química de oxigênio. O elemento manganês também se destaca por ser um dos constituintes da água tratada das ETAs de Pernambuco. Os resultados obtidos da CP3 estão de acordo com a literatura, pois as ETEs tem por finalidade a remoção das impurezas (matéria orgânica e sais) que estão dissolvidos ou suspensos no meio líquido.

As variáveis destacadas pela CP3 mostram que a distribuição das amostras no gráfico dos escores, quanto mais deslocada para cima, resultará em maiores valores de manganês, demanda química de oxigênio e sólidos totais e, quanto mais deslocada para baixo, menor o valor dessas variáveis.

Na Figura 3.16 encontra-se o gráfico dos escores dos objetos na componente principal 1 *versus* da componente principal 3. Na terceira componente caracteriza-se 17% das amostras da fase líquida ETEs.

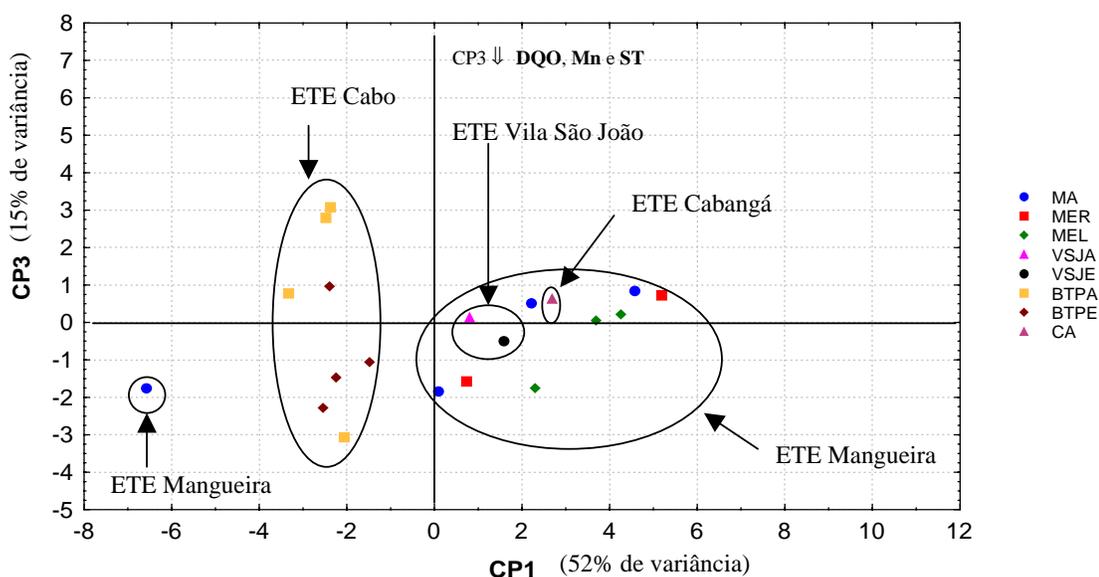


Figura 3.16 – Gráfico dos escores para CP1 e CP3 com 15% da informação original na terceira componente. *ETE Mangureira*: afluentes (MA), efluente dos reatores (MER) e efluente da lagoa de polimento (MEL); *ETE Vila São João*: afluentes (VSJA) e efluente dos reatores (VSJE); *ETE Cabo*: afluentes (BTPA) e efluente (BTPE) e *ETE Cabanga*: afluentes (CA).

Na Figura 3.16 observa-se a mesma separação do conjunto de dados. Sendo que no eixo vertical (CP3), observa-se que destacam-se as amostras afluentes da ETE Cabo (06 e 09/2000) à cima das demais no gráfico, as amostras do afluente, efluente dos reatores e efluente da lagoa de polimento da ETE Mangureira; afluentes e efluente dos reatores da ETE Vila São João; afluente da ETE Cabanga; afluente e efluente da ETE Cabo em posição intermediária e, as amostras afluente (08/2000) e efluente (06/2000) da ETE Cabo à baixo das demais amostras.

As amostras da fase líquida das ETEs anaeróbicas apresentam-se no gráfico com valores intermediários dos escores confirmando que possuem as características físico-químicas semelhantes provavelmente devido aos fatores já citados anteriormente.

As amostras do afluente da ETE Cabo apresentam-se no gráfico com maiores escores positivos em CP3 e também podem ser caracterizadas na Figura 3.16 por apresentarem 496,0 – 619,1 mg/L de DQO e 336,0 – 555,0 mg/L de sólidos totais. A amostra do afluente coletada em 24 de agosto de 2000 apresenta-se no gráfico com maiores escores negativos em CP3 e também pode ser caracterizada por apresentar 96,4 mg/L de DQO e 241,0 mg/L de sólidos totais.

As amostras do efluente da ETE Cabo apresentam-se no gráfico com alto escores negativo em CP3 e também podem ser caracterizadas por apresentarem 179,9 – 258,9 mg/L de DQO e 330,0 – 344,0 mg/L de sólidos totais. A amostra do efluente coletada no mês de setembro de 2000 apresenta-se no gráfico com maior escores positivo em CP3 e também pode ser caracterizada por apresentar 394,4 mg/L de DQO e 505,0 mg/L de sólidos totais.

A ETE Cabo destaca-se das demais ETEs provavelmente por receber um esgoto mais rico em material biodegradável. No gráfico vê-se que a amostra do efluente da ETE Cabo em 24 de agosto de 2000 possui uma maior concentração de DQO e sólidos mostrando que apresentava problema no tratamento provavelmente devido a parada no sistema de aeração (difusores de ar) e/ou devido a elevação da quantidade de sólidos nos tanques de decantação. Observa-se também no gráfico que, nas amostras do afluente do mês de junho para o mês de agosto de 2000, houve diminuição da concentração de DQO e sólidos, confirmando a necessidade do descarte de lodo nos períodos pré-estabelecidos do ano, para o bom funcionamento do sistema de tratamento.

Na caracterização físico-química das amostras do efluente das ETEs obteve-se que os teores de metais pesados (níquel, cobre, zinco e chumbo) abaixo dos valores limites de detecção do método analítico (0,05 mg/L), atendendo ao especificado pela Resolução CONAMA nº20, em mg/L, como padrão de lançamento de efluente: níquel (2,0), cobre (1,0), zinco (5,0) e chumbo (0,5), e para rio de classe 2: zinco (0,18), exceto os metais níquel (0,025), cobre (0,02) e chumbo (0,03) que não podem ser avaliados pelo método analítico utilizado. Observou-se que o teor de chumbo estava acima do especificado pelo CONAMA para rio de classe 2 nas amostras do efluente da ETE Cabangá e ETA Mangueira no mês de setembro de 2000. Nas amostras do efluente da ETE Cabo observou-se que o teor de cobre estava acima do especificado pelo CONAMA para rio de classe 2 conferindo ao corpo receptor uma degradação na sua qualidade. Os resultados mostram que em termos dos metais pesados as ETEs pesquisadas atendem aos padrões de lançamento de efluente especificado pelo CONAMA.

Os teores de alumínio, ferro e manganês nas amostras de efluente das ETEs apresentavam-se acima dos limites, em mg/L, especificados para rio (classe 2) pela Resolução CONAMA: Al (0,1); Fe (0,3) e Mn (0,1), exceto as amostras do efluente da ETE Cabo (junho a agosto de 2000) que apresentava-se teor de manganês abaixo do limite. As ETEs

apresentavam-se teor de ferro abaixo do especificado pela Resolução CONAMA n^o20 para padrões de lançamento de efluente: Fe (15,0)

3.3.4. Resultados da Análise dos Componentes Principais na Caracterização da Fase Sólida das ETEs

A matriz total dos dados representada no espaço tem, portanto, dimensões de 34 amostras por 22 parâmetros. Na ACP dos lodos das ETEs não foram incluídos os resultados dos teores de níquel e chumbo por apresentarem várias amostras com valores abaixo dos limites de detecção do método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Os resultados obtidos na caracterização físico-química dos bio-sólidos no período em estudo utilizado na ACP apresenta-se na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Características físico-química dos biossólidos aeróbios e anaeróbios da RMR

ETEs PARÂMETROS	ETE Mangueira		ETE Vila São João	ETE Cabo
	reator UASB	lagoa de polimento	reator UASB	decantador secundário
pH	6,83 – 8,39	6,65 – 8,02	7,33 – 7,89	6,93 – 7,86
Condutividade Elétrica ⁽¹⁾	864 - 1914	942 - 1151	2280 - 6380	356 - 516
Alcalinidade Total ⁽²⁾	383,1 – 966,4	332,9 – 420,5	1086,5 – 3496,9	98,8 – 146,1
Sulfato (em S) ⁽³⁾	2,80 – 16,6	8,52 – 23,6	2,96 – 10,7	31,5
Fósforo Total (em P) ⁽³⁾	0,17 – 0,56	0,54 – 0,78	0,27 – 0,84	0,60 – 0,80
Nitrogênio Total de Kjeldahl (em N) ⁽³⁾	14,8 – 21,7	19,4 – 24,4	12,7 – 21,0	3,80 – 66,3
Potássio (em K) ⁽³⁾	0,99 – 4,52	3,97 – 3,98	1,87 – 21, 2	4,5 – 12,1
Umidade a 65°C ⁽⁴⁾	86,2 – 94,7	97,6 – 98,4	79,3 – 99,7	99,8 – 99,9
Umidade a 105°C ⁽⁴⁾	86,4 – 94,78	97,66 – 98,45	81,0 – 99,72	99,8 – 99,9
Sólidos totais ⁽⁴⁾	5,22 – 13,6	1,55 – 2,34	0,28 – 19,0	0,08 – 0,19
Sólidos totais fixos ⁽⁵⁾	61,2 – 69,3	62,1 – 63,2	68,1 – 78,6	30,2 – 49,4
Sólidos totais voláteis ⁽⁵⁾	30,7 – 38,8	36,8 – 37,9	21,4 – 31,9	50,6 – 69,8
Sódio ⁽³⁾	1,30 – 4,26	3,28 – 5,30	1,14 – 36,3	11,9 – 56,8
Ferro ⁽³⁾	15,6 – 43,9	0,22 – 32,9	18,2 – 35,5	4,0 – 5,8
Cálcio ⁽³⁾	17,7 – 35,6	0,26 – 28,8	13,1 – 21,5	13,6 – 16,8
Magnésio ⁽³⁾	2,31 – 5,96	2,39 – 2,91	1,8 – 4,62	3,07 – 4,32
Silício (em Si) ⁽³⁾	0,09 – 0,36	0,1 – 0,26	0,12 – 6,14	0,48 – 15
Alumínio ⁽³⁾	2,51 - 60	0,34 - 61	25,6 – 88,2	7,31 – 20,3
Manganês ⁽³⁾	0,15 – 0,34	0,24 – 0,35	0,13 – 0,17	0,05 – 0,71
Cobre ⁽⁶⁾	44,6 – 87,4	74 – 81,1	20,3 – 85,6	1284,9 – 3963,7
Zinco ⁽⁶⁾	273,4 – 587,2	464,3 – 470	45,6 – 490,5	348,4 – 975
Cromo ⁽⁶⁾	36,8 – 83,3	54,9 – 72	43,2 – 99	N.D. – 167,9
Níquel ⁽⁶⁾	10,8 – 33	–	N.D. – 87,9	N.D.
Chumbo ⁽⁶⁾	32,1 – 36	–	N.D.	N.D. – 64,5

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

(1) µS/cm

(2) mg de CaCO₃/L

(3) g/kg de matéria seco

(4) % massa úmida

(5) % sólidos totais

(6) mg/kg de matéria seca

Com base nas informações anteriores realizou-se a ACP dos dados das amostras da fase líquida das ETEs e obteve-se dois gráficos dos escores estão apresentados nas Figuras 3.17 e 3.18 que retêm 72% da informação original total dos dados nas três primeiras componentes.

Na análise de componentes principais dos dados das amostras de biossólidos, 41% da informação original está contida na primeira componente (CP1), que pode ser representada, em termos dos pesos:

$$\text{CP1} = 1,12 \times 10^{-02} \text{ pH} - 0,13 \text{ CE} - 0,16 \text{ AT} + 0,37 \text{ S} + 0,29 \text{ P} + 0,29 \text{ N} + 0,12 \text{ K} + 0,24 \text{ U65} + 0,24 \text{ U105} - 0,24 \text{ ST} - 0,26 \text{ STF} + 0,26 \text{ STV} + 0,18 \text{ Na} - 0,25 \text{ Fe} - 0,12 \text{ Ca} + 0,14 \text{ Mg} + 0,13 \text{ Si} - 0,20 \text{ Al} + 0,11 \text{ Mn} + 0,26 \text{ Cu} + 0,16 \text{ Zn} + 0,21 \text{ Cr} \quad (9)$$

A análise dos pesos revela que a CP1 é constituída principalmente pelo (0,37) sulfato e em menores proporções por (0,29) fósforo, (0,29) nitrogênio, (0,26) cobre, (- 0,26) sólidos totais fixos, (0,26) sólidos totais voláteis, (- 0,25) ferro, (- 0,24) sólidos totais, (0,24) umidade a 65°C e (0,24) umidade a 105°C. Observa-se uma correlação positiva entre as variáveis sulfato, fósforo e nitrogênio (os macronutrientes) e, entre sólidos totais e sólidos totais fixos e, uma correlação negativa entre estes e os sólidos totais voláteis. Na primeira componente, quanto maior o valor dos escores da amostra nesta componente, maior as concentrações das variáveis (com sinal +) sulfato, fósforo, nitrogênio, cobre, sólidos totais voláteis, umidade a 65°C e umidade a 105°C e menor o teor dos parâmetros (com sinal -) sólidos totais fixos, ferro e sólidos totais, ou vice-versa.

Podemos interpretar que a CP1 caracteriza 41% das amostras de biossólidos como constituída principalmente pelas variáveis relacionadas com os nutrientes, matéria orgânica e inorgânica. Observa-se que os resultados obtidos na CP1 estão de acordo com a literatura, já que, os parâmetros destacados nesta componente mostram a influencia da composição do esgoto e do tipo do sistema de tratamento na característica do lodo. O tratamento aeróbio do esgoto produz uma grande quantidade de biomassa e nas células das bactérias ocorre o acúmulo dos nutrientes (tais como enxofre, fósforo e nitrogênio), então têm-se esses nutrientes em grande quantidade no lodo aeróbio.

Já o tratamento anaeróbio de esgoto produz uma pequena quantidade de biomassa e grande quantidade de gases (tais como metano, carbônico, sulfídrico e amônia) ocorrendo a

perda dos nutrientes (enxofre e nitrogênio) na forma gasosos para o ambiente. No tratamento do esgoto com reator tipo UASB tem-se como vantagem a retenção de grande quantidade de biomassa em seu interior, proporcionando um aumento na concentração de sólidos totais e estabilização (mineralização) da biomassa produzida ocorrendo um aumento no teor de sólidos fixos. Segundo FERREIRA *et al.*(1999a), no Paraná a norma técnica só permite a utilização agrícola de lotes de lodo em que o teor de sólidos fixos (cinzas) seja superior a 30% (dos ST) e a redução dos sólidos voláteis de 45 a 50% (dos ST).

Como já foi visto, o esgoto contribuinte a ETE influencia também na característica do bio-sólido, já que, a concentração de metais, sais, nutrientes e outros elementos, concentra-se neste sub produto, conferindo-o elementos indesejáveis principalmente quando a disposição final for a utilização na agricultura. Na CPI destaca-se dois metais com sinal contrário mostrando que as amostras de bio-sólidos apresentam composição bem distinta, ou seja, tem-se presente no esgoto o metal cobre (com sinal +) ou o ferro (com sinal -) conferindo uma característica peculiar ao lodo. Como já foi discutido, o metal ferro por ser um dos metais contaminantes da água de abastecimento em Pernambuco esta presente no lodo de esgoto. O elemento cobre pode estar presente no lodo proveniente de canalizações de água quente, fábrica de fios elétricos, radiadores de automóveis e tratamento de superfícies metálicas (FERNANDES, 1999).

Como na CPI só caracterizou-se 41% das amostras de bio-sólido, em aeróbias e anaeróbias, realizou-se uma segunda ACP. Na segunda componente principal (CP2) são explicados 19% da informação original, e pode ser apresentada matematicamente como se segue:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{CP2} = & 7,41 \times 10^{-02} \text{pH} + 0,23 \text{CE} + 0,27 \text{AT} - 0,11 \text{S} + 0,23 \text{P} - 7,04 \times 10^{-02} \text{N} + 0,36 \text{K} + \\
 & 0,18 \text{U65} + 0,18 \text{U105} - 0,18 \text{ST} + 0,22 \text{STF} - 0,22 \text{STV} + 0,29 \text{Na} - 3,94 \times 10^{-02} \text{Fe} \\
 & - 0,11 \text{Ca} + 0,14 \text{Mg} + 0,37 \text{Si} - 4,70 \times 10^{-02} \text{Al} - 0,11 \text{Mn} - 0,14 \text{Cu} - 0,38 \text{Zn} - 0,19 \\
 & \text{Cr}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

A análise dos pesos revela que a CP2 é constituída principalmente pelas variáveis zinco (- 0,38), silício (0,37) e potássio (0,36) e, em menores proporções pelo sódio (0,29). Assim quanto maior o valor dos escores da amostra na CP2, maior a concentração da variável

(com sinal -) zinco e, e menor as concentrações dos parâmetros (com sinal +) silício, potássio e sódio, ou vice-versa. Na segunda componente tem-se uma correlação entre os metais alcalinos terrosos (sódio e potássio).

A CP2 mostra que 19% das amostras de lodo caracterizam-se também pelo esgoto contribuinte a ETE. Nesta componente, confirma-se os resultados encontrados na fase líquida das ETEs, já que, no bio sólido destaca-se o elemento silício (principal componente da areia) mostrando que o esgoto possuía uma grande quantidade de material inerte (areia). Observa-se que também destaca-se na composição do bio sólido os elementos potássio e sódio provavelmente devido a presença destes na água de abastecimento e na servida provenientes dos produtos (detergentes, sabão, etc.) que apresentam estes sais alcalinos na sua composição. O elemento zinco pode estar presente no lodo proveniente da fabricação de tintas, borracha, produtos farmacêuticos, pilhas elétricas, galvanização (FERNANDES, 1999). Este elemento destaca-se na CP2 em sentido contrário aos outros elementos desta componente, portanto, as características dos lodos dependem dos teores destes no afluente da ETE.

A distribuição das amostras no gráfico dos escores nas duas primeiras componentes, conforme as variáveis destacadas, quanto mais deslocadas para esquerda, maiores serão os valores de sólidos totais fixos, sólidos totais e ferro, e quanto mais para cima, maiores as concentrações de potássio, sódio e silício. Já as amostras que estiverem mais deslocadas para direita apresentam maior os valores de sulfato, fósforo, nitrogênio, cobre, sólidos totais voláteis, umidade a 65°C e umidade a 105°C e quanto mais para baixo, maior as concentrações de zinco.

A Figura 3.17 apresenta o gráfico dos escores das amostras na componente principal 1 *versus* a componente principal 2 que caracteriza 60% das amostras da fase sólida ETEs.

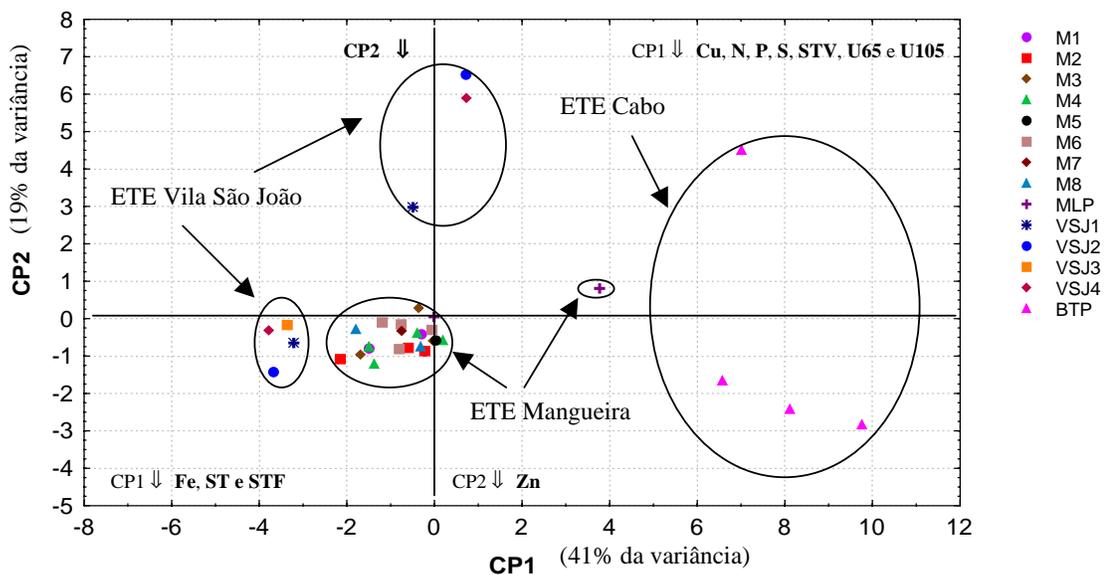


Figura 3.17 – Gráfico dos escores dos objetos nas duas primeiras componentes principais da Análise de Componentes Principais para a caracterização de lodo de ETEs, segundo parâmetros físico-químicos. *ETE Mangueira*: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB e lagoa de polimento (MLP); *ETE Vila São João*: célula 1 (VSJ1), célula 2 (VSJ2), célula 3 (VSJ3) e célula 4 (VSJ4) do reator UASB e *ETE Cabo*: decantador secundário (BTP).

Na Figura 3.17 observa-se pela estrutura apresentada no gráfico dos escores CP1 *versus* CP2 e pela composição de cada componente principal que as amostras apresentam uma estrutura que reflete as características dos tipos de lodos formados nas ETEs aeróbias (à direita) e anaeróbias (à esquerda).

No eixo horizontal (CP1), observa-se as amostras da ETE Cabo e da lagoa de polimento da ETE Mangueira (05/2000) na extrema direita das demais; as amostras da ETE Mangueira e da ETE Vila São João (06/2000) em posição intermediária, e as amostras da ETE Vila São João (07/2000) na extrema esquerda do gráfico.

No eixo vertical (CP2), as amostras da ETE Vila São João (06/2000) e da ETE Cabo (05/2000) à cima das demais; as amostras da ETE Mangueira e da ETE Vila São João (07/2000) em posição intermediária, e as demais amostras da ETE Cabo à baixo.

As amostras de lodo do decantador da ETE Cabo apresentam-se com maiores escores positivos em CP1 e caracterizam-se por apresentarem 31,5 g de S/kg (de MS) de sulfato; 0,60 - 0,80 g de P/kg (de MS) de fósforo; 47,3 - 66,3 g de N/kg (de MS) de nitrogênio; 99,8% -

99,9% (de MU) de umidade a 65°C e 105°C; 50,6% – 69,8% (dos ST) de sólidos totais voláteis e 1.284,9 – 3.963,7 mg/kg (de MS) de cobre. Podemos ainda observar que a amostra de lodo do mês de maio de 2000 apresentava 56,8 g/kg (de MS) de sódio e 15,0 g/kg (de MS) de silício. Enquanto que as amostras de lodo dos meses de agosto a setembro de 2000 apresentaram 708,7 – 975 mg/kg (de MS) de zinco.

As amostras de lodo da ETE Cabo destacam-se à direita na Figura 3.17 por possuírem grande concentração dos nutrientes (nitrogênio, enxofre e fósforo) devido ao tipo de tratamento secundário (lodo ativado com aeração prolongada) e do esgoto de hotel cinco estrelas. O lodo desta ETE contém o teor de cobre acima do especificado para a aplicação agrícola do lodo de esgoto doméstico pela legislação do Paraná que é Cu (1.000). Observa-se que o cobre também estava em grande concentração no afluente da ETE provavelmente devido ao sistema de aquecimento e esfriamento d'água deste hotel e segundo relato de funcionários do hotel ocorreu um problema no sistema de refrigeração e o líquido foi enviado a ETE.

A amostra de lodo da lagoa de polimento de maio de 2000 da ETE Mangueira apresenta altos escores positivos em CP1 e caracteriza-se por apresentar 23,6 g de S/kg (de MS) de sulfato; 0,78 g de P/kg (de MS) de fósforo; 24,4 g de N/kg (de MS) de nitrogênio; 98,4% (de MU) umidade a 65°C e a 105°C e, 37,9% (dos ST) de sólidos totais voláteis. Também apresentava 3,98 g de K/kg (de MS) de potássio e 0,26 g/kg (de MS) de silício.

A amostra de lodo anaeróbico da lagoa de polimento da ETE Mangueira destaca-se no gráfico do lado positivo na CP1 por possuir grande concentração dos nutrientes (nitrogênio e fósforo) que provavelmente são provenientes do tipo de tratamento terciário, já que a lagoa de polimento tem por finalidade a remoção dos patógenos, nitrogênio e fósforo do efluente do tratamento secundário (neste caso do reator UASB) para adequá-lo a legislação vigente no Brasil e em Pernambuco.

As amostras de lodo da ETE Vila São João, de julho de 2000, apresentam os maiores escores negativo em CP1 e caracterizam-se por apresentarem 14,0% – 19,0% (de MU) de sólidos totais; 69,4% – 69,8% (dos ST) de sólidos totais fixos e 29,9 – 35,5 g/kg (de MS) de ferro. Também apresentaram 429,4 – 490,5 mg/kg (de MS) de zinco. Estas amostras de lodo destacam-se no gráfico do lado negativo na CP1 por possuir grande concentração dos sólidos totais e sólidos totais fixos, provavelmente devido ao tipo do tratamento secundário ser anaeróbico realizado em reator UASB que concentra em seu interior um grande volume de

sólidos além de estabiliza-lo. O teor de sólidos fixos e conseqüentemente a redução dos sólidos voláteis eram superiores ao citado como ideal na literatura para utilização agrícola do lodo, mas acredita-se que este valor é devido em grande parte a areia presente no esgoto. O tratamento anaeróbio também tem como vantagem produção de grande quantidade de gases (amônia, sulfídrico, metano e carbônico) ocorrendo a perda dos elementos nitrogênio e enxofre para o meio ambiente, além do esgoto da ETE Vila São João como a da ETE Mangueira serem provenientes de bairros de população de classe baixa e conseqüentemente os nutrientes já estavam em pequena quantidade neste esgoto. Esta ETE também estava parada à quinze dias devido a problemas operacionais, mostrando que após a parada da estação continuava o processo de produção/formação de bactéria no interior do reator e a digestão da matéria orgânica.

As amostras do lodo anaeróbio da ETE Vila São João, de junho de 2000, que apresentam os maiores escores positivo em CP2 e se caracterizam por apresentarem 5,55 – 21,2 g de K/kg (de MS) de potássio; 11,3 – 36,3 g/kg (de MS) de sódio e 4,41 – 6,14 g/kg (de MS) de silício. Podemos ainda observar que a amostra de lodo da célula 1 apresentava 33,0 g/kg (de MS) de ferro. Enquanto que as amostras de lodo das células 2 e 4 apresentaram 0,48 - 0,84 g de P/kg (de MS) de fósforo; (19,6 – 21,0 g de N/kg (de MS) de nitrogênio; 99,5% – 99,7% (de MU) umidade a 65°C e a 105°C.

As amostras de lodo da ETE Vila São João no mês de junho de 2000 destacam-se no gráfico do lado positivo na CP2 por possuir grande concentração de silício, potássio e sódio. No lodo, o elemento sílica destaca-se provavelmente devido a grande quantidade de material inerte que esta presente no esgoto e chega a estação devido aos fatores já citados anteriormente. No biossólido, os elementos sódio e potássio estão presentes em grande quantidade no esgoto e segundo relato de funcionários da estação provavelmente devido há produção clandestina de detergentes caseiros neste bairro.

As demais amostras de lodo da ETE Mangueira encontram-se na CP1 e CP2 com escores em posição intermediária e caracterizam-se por apresentarem 0,2% – 16,9% (de MU) de sólidos totais; 58,2% – 68,9% (dos ST) de sólidos totais fixos; 15,6 – 43,9 g/kg (de MS) de ferro e 273,4 – 587,2 mg/kg (de MS) de zinco mostrando que os lodos pesquisados possuíam as características físico-químicas semelhantes.

Na análise da primeira e segunda componentes principais caracterizaram-se 60% das amostras de lodo, realizou-se uma terceira análise dos componentes principais para obter um

número maior de amostra caracterizada. Na terceira componente principal (CP3) ficaram retidos 12% da informação original e os pesos podem ser assim representados:

$$\begin{aligned} \text{CP3} = & 9,01 \times 10^{-02} \text{ pH} - 0,43 \text{ CE} - 0,39 \text{ AT} - 0,11 \text{ S} - 4,53 \times 10^{-02} \text{ P} - 0,14 \text{ N} - \\ & 2,16 \times 10^{-02} \text{ K} + 0,11 \text{ U65} + 9,20 \times 10^{-02} \text{ U105} - 9,20 \times 10^{-02} \text{ ST} + 8,41 \times 10^{-02} \text{ STF} - \\ & 8,41 \times 10^{-02} \text{ STV} - 6,38 \times 10^{-02} \text{ Na} - 2,27 \times 10^{-02} \text{ Fe} + 0,37 \text{ Ca} + 0,28 \text{ Mg} - \\ & 7,71 \times 10^{-02} \text{ Si} - 0,34 \text{ Al} + 0,27 \text{ Mn} - 0,19 \text{ Cu} - 9,29 \times 10^{-02} \text{ Zn} - 0,35 \text{ Cr}. \end{aligned} \quad (11)$$

Na CP3, os maiores pesos são atribuídos as variáveis (- 0,43) condutividade elétrica, (- 0,39) alcalinidade total, (0,37) cálcio, (- 0,35) cromo e (- 0,34) alumínio. Em menores proporções contribuem as variáveis (0,28) magnésio e (0,27) manganês. Nesta componente quanto maior o valor do escore da amostra, maiores as concentrações das variáveis (com sinal +) cálcio, magnésio e manganês e, menor as concentração dos parâmetros (com sinal -) condutividade elétrica, alcalinidade total, cromo e alumínio ou vice-versa. Observa-se que se destacam nesta componente os elementos cálcio e magnésio que estão ligados a dureza da água e, em sentido contrário temos a condutividade elétrica, alcalinidade total, cromo e alumínio.

Na terceira componente principal (CP3) observa-se que 12% das amostras de lodo caracterizam-se pela composição iônica que é influenciada pela característica da água tratada (grande quantidade de cálcio, magnésio, manganês e alumínio) e também pelo esgoto produzido nas atividades humanas (residenciais e comerciais) que chega a ETE. O elemento cromo destaca-se na CP3 e pode estar presente no lodo sanitário proveniente de curtume, fabricação de ligas de aço e tratamento de superfícies metálicas (FERNANDES, 1999). A composição da CP3 e a estrutura apresentada na Figura 3.18 observa-se que as amostras, quanto mais deslocadas para baixo, maior os valores de condutividade elétrica, alcalinidade total, cromo e alumínio e, quanto mais deslocadas para cima, maior as concentrações de cálcio, magnésio e manganês.

Na Figura 3.18 encontra-se o gráfico dos escores das amostras de lodo das ETEs na componente principal 1 *versus* da componente principal 3 e caracteriza-se 53% das amostras.

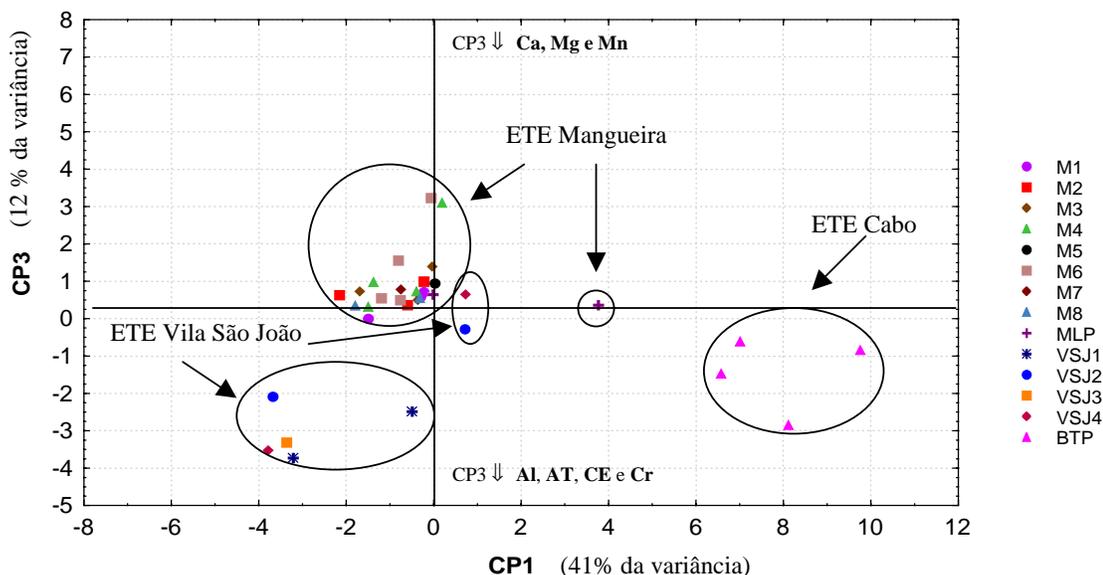


Figura 3.18 – Gráfico dos escores da primeira e terceira CPs da ACP para a caracterização de lodo de ETEs, segundo parâmetros físico-químicos. *ETE Mangueira*: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB e lagoa de polimento (MLP); *ETE Vila São João*: célula 1 (VSJ1), célula 2 (VSJ2), célula 3 (VSJ3) e célula 4 (VSJ4) do reator UASB e *ETE Cabo*: decantador secundário (BTP).

Na Figura 3.18 observa-se uma separação semelhante do conjunto das amostras. No eixo vertical (CP3) destacam-se as amostras de lodo anaeróbio das células 4 e 6 (02/2000) da ETE Mangueira à cima das demais, as amostras de lodo da ETE Mangueira, da ETE Vila São João e da ETE Cabo em posição intermediária e, as amostras de lodo das células 1, 3 e 4 da ETE Vila São João (07/2000) à baixo das demais amostras no gráfico.

As amostras de lodo anaeróbio das células 4 e 6 da ETE Mangueira no mês de fevereiro de 2000 destacam-se por apresentarem os maiores escores positivos na CP3 e caracterizam-se por possuírem 29,8 – 30,5 g/kg (de MS) de cálcio; 5,92 – 5,96 g/kg (de MS) de magnésio e 0,32 mg/kg (de MS) de manganês.

De maneira geral, as amostras de lodo da ETE Mangueira encontram-se nas CPs com escores em posição intermediária e caracterizam-se por apresentarem 0,26 – 29,9 g/kg (de MS) de cálcio; 2,31 – 2,94 g/kg (de MS) de magnésio e 0,15 – 0,35 mg/kg (de MS) de manganês.

Os resultados da caracterização físico-química das amostras de lodo da ETE mangueira mostram que possuíam características semelhantes das amostras de lodo pesquisados provavelmente devido a composição d'água de abastecimento (dureza alta) e a classe sócio - econômica da população contribuinte à ETE ser bem próxima da Vila São João. Confirmou-se que os maiores responsáveis pela qualidade do lodo da ETE Mangueira são as características da água tratada e do esgoto e influencia principalmente no tratamento e disposição final.

As amostras de lodo das células 1, 3 e 4 da ETE Vila São João no mês de julho de 2000 apresentaram os maiores escores negativos na CP3 e também caracterizam-se por conter 4.810 – 5.060 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade elétrica, 2.556,2 – 2.740,6 mg de CaCO_3/L de alcalinidade total, 76,2 – 99,0 mg/kg (de MS) de cromo e 78,6 – 88,2 g/kg (de MS) de alumínio.

Observou-se que os valores de condutividade elétrica das amostras de biossólido da ETE Vila São João eram superiores a 2.000 $\sigma\text{S}/\text{cm}$ e sua utilização no solo ou na agricultura sem tratamento prévio para correção do teor de sais, pode produzir o efeito salino (toxicidade de alguns íons; desequilíbrio nutricionais; dificuldade de absorção de água e nutrientes devido a alta pressão osmótica do solo) devido a decomposição deste lodo no solo que pode provocar a elevação da condutividade elétrica da solução do solo acima dos níveis aceitáveis para as plantas. Os resultados também confirmam os encontrados na fase líquida desta ETE e destacou o elemento cromo na composição deste lodo provavelmente isto ocorreu devido a existência de oficinas mecânicas clandestinas no bairro.

Os teores de metais pesados pesquisados nos lodos das ETEs anaeróbias e aeróbia apresentavam-se abaixo dos valores, em $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de MS, especificado como proibitivos para a aplicação agrícola do lodo de esgoto doméstico pelas Normas da CETESB P 4.230 (São Paulo): Zn (7500), Cu (4300), Ni (420) e Pb (840) e, da SANEPAR (Paraná): Zn (2.500), Cu (1.000), Ni (300), Cr (1000) e Pb (750), exceto o teor de cobre nas amostras de lodo da ETE Cabo que estavam acima do especificado pela SANEPAR.

Pelo método utilizado na digestão das amostras para análise de metais pesados não foi possível confirmar que o grande acúmulo de material inerte no lodo das ETEs anaeróbias caracterizadas se deve à presença de areia, uma vez que, nas determinações metais (mg/kg de MS) como alumínio, ferro, manganês, magnésio, cálcio, potássio e sódio apresentaram concentrações mais altas que o silício.

As concentrações de alumínio, manganês, sódio, cálcio, magnésio e ferro nas amostras de lodo da ETEs são preocupantes, já que, podem trazer até certo limite (concentração) benefícios ao solo e as culturas. Deve-se efetuar um tratamento para correção destes teores no lodo quando a disposição final for aplicação na agricultura ou no solo, pois grande concentração de alguns destes elementos favorecem o aumento da capacidade de troca catiônica e a fixação de nutrientes no solo evitando a assimilação pelas raízes das plantas.

Nas amostras de lodo da ETE mangueira, a razão SSV/SST estava na faixa de 29,6% – 37,5% (Tabela 4 do Apêndice) e observa-se que estavam abaixo da faixa de 75% – 85% SV/ST citada como típica para lodo gerado em ETEs domésticos (JORDÃO e PESSOA, 1995).

3.4. CONCLUSÕES

A aplicação da ACP possibilitou a identificação das principais tendências nos dados (de acordo com as Componentes Principais - CPs) separando o conjunto original em categorias, de acordo com as características das variáveis e das amostras das fases líquidas e sólidas das ETAs e ETEs. Relacionaram-se também as características físico-químicas dos lodos em estudo, com as da água bruta ou do afluente do qual foi gerado e o tipo de sistema de tratamento empregado.

A água bruta analisada da UFPE caracteriza-se principalmente pela presença de uma maior quantidade de sais (alumínio, cálcio, ferro, magnésio, pH, sólidos totais e sólidos totais voláteis) que as demais ETAs. Entretanto a água bruta captada pela ETA Gurjaú caracteriza-se por conter mais sais (silício e sólidos totais fixos) do que a ETA Castelo Branco. Contudo a ETA Castelo Branco também possuía maiores concentrações de condutividade elétrica, sódio e manganês.

Nas ETAs, na fase líquida, os teores dos metais pesados (níquel, cobre, zinco, cromo e chumbo) apresentavam-se valores abaixo dos limites de detecção do método analítico (0,05 mg/L de cada metal) não apresentando aparentemente problema na sua utilização. Águas tratadas não apresentavam os níveis adequados aos padrões da Portaria nº 1469 (29/12/2000) do Ministério da Saúde levando a crê que as ETAs estavam com seus funcionamentos abaixo do determinado (Al (0,2); Fe (0,3) e Mn (0,1). Entretanto o teor de sódio apresentava-se de acordo com o padrão de potabilidade 200 mg/L de Na.

Observou dois tipos de lodos no material analisado, que foi diagnosticado de acordo como o tratamento utilizado, ou seja, o do decantador (sólidos totais e sólidos totais fixos) e do filtro (cálcio, cobre, magnésio, sólidos totais voláteis e umidade). Porém apresentaram características em comum (alumínio, ferro e silício). Sendo que o lodo analisado da ETA Castelo Branco também se caracteriza pelo acúmulo de condutividade elétrica, cromo, manganês, pH e zinco e da ETA suape por uma maior quantidade de sódio.

Nos lodos das ETAs observou-se que os teores de metais pesados estavam abaixo do especificado pelas normas brasileiras e internacionais para sua utilização agrícola. Mas os teores dos metais alcalinos e/ou alcalinos terrosos (alumínio, manganês, sódio, ferro, cálcio e magnésio) apresentam uma grande preocupação pelo lançamento destes resíduos em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos pela Companhia Pernambucana de controle da poluição ambiental e dos Recursos Hídricos (CPRH) sem nenhuma forma de tratamento prévio no corpo d'água superficiais mais próximos das estações afetando as condições estéticas, contribuindo para o aumento do grau de poluição e da degradação da qualidade do meio ambiente.

Nas ETEs, na fase líquida, os teores dos metais pesados (níquel, cobre, zinco, cromo e chumbo) apresentavam-se abaixo dos valores limites especificado pelo CONAMA n^o 20 não apresentando aparentemente problema na sua disposição no meio ambiente. Os esgotos das Vila São João e Mangueira apresentaram maiores teores de cálcio, condutividade elétrica, sódio, magnésio, pH, silício e sólidos totais fixos. Enquanto que da ETE Cabo continha sólidos totais voláteis e cobre. Os afluentes das estações em sua maioria possuíam alto teor de alumínio, ferro, DQO, manganês e sólidos totais. No efluente das ETEs observou-se que em alguns meses os teores de alumínio e manganês apresentavam-se acima dos valores limites especificado pelo CONAMA apresentando problema na sua disposição no meio ambiente.

O lodo da ETE Cabo caracterizava-se principalmente por conter cobre, nitrogênio, fósforo, sulfato, sólidos totais voláteis e os lodos das ETEs anaeróbias pelo ferro, sólidos totais e sólidos totais fixos. O lodo da ETE Vila São João apresentava valores diferenciados de metais (sódio, potássio, silício e zinco), ou seja, quando estava em funcionamento possuía uma maior concentração de sódio, potássio e silício e quando paralisada o metal que se destacava era o zinco. Entretanto nas demais ETEs destacaram o teor de zinco. Na ETE mangueira destacam se cálcio, magnésio e manganês, todavia nas ETEs Cabo e Vila São João destacam-se os teores de alcalinidade, alumínio, condutividade elétrica e cromo.

As variações na qualidade da água bruta influenciam decisivamente nas características físico-química dos lodos das ETAs e que as variações na qualidade do afluente influenciam nas características físico-química dos lodos das ETEs. A maior variação dos dados está relacionada com as concentrações de nutrientes e umidade que separam a ETE aeróbia das demais ETEs. Este comportamento evidencia a influência do tipo de sistema de tratamento de esgoto com o lodo gerado.

Nos lodos das ETEs observou-se que os teores de metais pesados estavam abaixo do especificado pelas normas brasileiras e internacionais para sua utilização agrícola, exceto a ETE aeróbia que apresentava o teor de cobre acima do especificado. Durante o tempo de experimento, verificou-se altas concentrações dos metais alcalinos e/ou alcalinos terrosos (alumínio, sódio, ferro, cálcio, magnésio e manganês) mostrando que a sua utilização em solos para reflorestamento, plantios de árvores frutíferas e plantas ornamentais deve ser feito após tratamento (por co-compostagem e/ou vermicompostagem) para correção destes elementos e utilizado com algumas reservas. Observou-se também que a ETE aeróbia apresentou maior concentração dos nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre) do que as ETEs anaeróbia (Mangueira e Vila São João).

As águas brutas estudadas apresentavam pH 6,5 – 6,9; 55,9 - 260 σ S/cm de Condutividade Elétrica; 109,6 – 360,2 mg/L de Sólidos Totais; 52,3 – 56,1% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 43,9 – 47,7% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em mg/L: Na (11,3 – 31,7); Fe (2,9 – 4,2); Ca (9,1– 14,1); Mg (4,1– 10,4); Al (2,0 – 5,5); Mn (N.D. – 0,4) e Si (N.D. – 5,7).

As águas tratadas estudadas apresentavam pH 4,0 – 5,8; 107,2 – 317 σ S/cm de Condutividade Elétrica; 72,8 – 210,3 mg/L de Sólidos Totais; 59,4 – 68,7% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 31,4 – 40,6% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em mg/L: Na (6,1 – 28,7); Fe (0,1 – 1,8); Ca (1,7 – 9,7); Mg (1,6 – 5,1); Al (0,3 – 1,6); Mn (N.D. – 0,5) e Si (4,2– 6,3).

Os lodos dos decantadores das ETAs apresentavam pH 4,1 – 6,7; 171 - 1321 σ S/cm de Condutividade Elétrica; 88,4 – 97,2 % (de MU) de Umidade; 2,8 – 11,6% (de MU) de Sólidos Totais; 70,6 – 81,1% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 18,9 – 29,4% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em g.kg⁻¹ de lodo seco: Na (0,70– 1,5); Fe (6,5– 64,5); Ca (1,4 – 2,4); Mg (0,9 – 1,1); Al (39,6– 128,0); Mn (0,04 – 7,8) e Si

(0,1 – 0,2). Os teores de metais pesados expressos em mg.kg^{-1} de lodo seco foram os seguintes: Cu (8,0 – 18,0); Zn (12,0 – 86,8) e Cr (44,5 – 74,8).

Os lodos dos filtros das ETAs apresentavam apresentava pH 4,7 – 7,3; 62,3 - 304 $\sigma\text{S/cm}$ de Condutividade Elétrica; 99,8 – 99,9% (de MU) de Umidade; 0,1 – 0,2% (de MU) de Sólidos Totais; 66,8 – 71,1% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 28,9 – 33,2% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em g.kg^{-1} de lodo seco: Na (0,4 – 22,4); Fe (32,4 – 45,8); Ca (3,3 – 9,4); Mg (3,3 – 6,3); Al (52,9 – 120,8); Mn (0,05 – 0,3) e Si (0,1 – 0,3). Os teores de metais pesados expressos em mg.kg^{-1} de lodo seco foram os seguintes: Cu (N.D. – 35,1); Zn (N.D. – 39,2) e Cr (N.D. – 105,0).

O lodo de esgoto aeróbio da ETE Cabo apresentava pH 6,93 – 7,86; 356 - 516 $\sigma\text{S/cm}$ de Condutividade Elétrica; 98,8 – 146,1 mg de CaCO_3/L de Alcalinidade Total; 99,8 – 99,9% (de MU) de Umidade; 0,08 – 0,19% (de MU) de Sólidos Totais; 30,2 – 49,4% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 50,6 – 69,8% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em g.kg^{-1} de lodo seco: N total de Kjeldahl (3,80 – 66,3); P total (0,60 – 0,80); K (4,5 – 12,1); S (31,5); Na (11,9 – 56,8); Fe (4,0 – 5,8); Ca (13,6 – 16,8); Mg (3,07 – 4,32); Al (7,31 – 20,3); Mn (0,05 – 0,71) e Si (0,48 – 15). Os teores de metais pesados expressos em mg.kg^{-1} de lodo seco foram os seguintes: Ni (N.D.); Cu (1284,9 – 3963,7); Zn (348,4 – 975); Pb (N.D. – 64,5) e Cr (N.D. – 167,9).

O lodo de esgoto anaeróbio da ETE Vila São João apresentava pH 7,33 – 7,89; 2280 - 6380 $\sigma\text{S/cm}$ de Condutividade Elétrica; 1086,5 – 3496,9 mg de CaCO_3/L de Alcalinidade Total; 81,0 – 99,72% (de MU) de Umidade; 0,28 – 19,0% (de MU) de Sólidos Totais; 68,1 – 78,6% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 21,4 – 31,9% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em g.kg^{-1} de lodo seco: N total de Kjeldahl (12,7 – 21,0); P total (0,27 – 0,84); K (1,87 – 21, 2); S (2,96 – 10,7); Na (1,14 – 36,3); Fe (18,2 – 35,5); Ca (13,1 – 21,5); Mg (1,8 – 4,62); Al (25,6 – 88,2); Mn (0,13 – 0,17) e Si (0,12 – 6,14). Os teores de metais pesados expressos em mg.kg^{-1} de lodo seco foram os seguintes: Ni (N.D. – 87,9); Cu (20,3 – 85,6); Zn (45,6 – 490,5); Pb (N.D.) e Cr (43,2 – 99).

O lodo de esgoto da lagoa de polimento da ETE Mangueira apresentava pH 6,65 – 8,02; 942 - 1151 $\sigma\text{S/cm}$ de Condutividade Elétrica; 332,9 – 420,5mg de CaCO_3/L de Alcalinidade Total; 97,66 – 98,45% (de MU) de Umidade; 1,55 – 2,34% (de MU) de Sólidos Totais; 62,1 – 63,2% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 36,8 – 37,9% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em g.kg^{-1} de lodo seco: N total de

Kjeldahl (19,4 – 24,4); P total (0,54 – 0,78); K (3,97 – 3,98); S (8,52 – 23,6); Na (3,28 – 5,30); Fe (0,22 – 32,9); Ca (0,26 – 28,8); Mg (2,39 – 2,91); Al (0,34 - 61); Mn (0,24 – 0,35) e Si (0,1 – 0,26). Os teores de metais pesados expressos em mg.kg^{-1} de lodo seco foram os seguintes: Cu (74 – 81,1); Zn (464,3 – 470) e Cr (54,9 – 72).

O lodo de esgoto do reator UASB da ETE Mangueira apresentava pH 6,83 – 8,39; 864 - 1914 $\sigma\text{S/cm}$ de Condutividade Elétrica; 383,1 – 966,4 mg de CaCO_3/L de Alcalinidade Total; 86,4 – 94,78 % (de MU) de Umidade; 5,22 – 13,6% (de MU) de Sólidos Totais; 61,2 – 69,3% (de ST) de Sólidos Totais Fixos; 30,7 – 38,8% (de ST) de Sólidos Totais Voláteis e com a seguinte característica química, expressos em g.kg^{-1} de lodo seco: N total de Kjeldahl (14,8 – 21,7); P total (0,17 – 0,56); K (0,99 – 4,52); S (2,80 – 16,6); Na (1,30 – 4,26); Fe (15,6 – 43,9); Ca (17,7 – 35,6); Mg (2,31 – 5,96); Al (2,51 - 60); Mn (0,15 – 0,34) e Si (0,09 – 0,36). Os teores de metais pesados expressos em mg.kg^{-1} de lodo seco foram os seguintes: Ni (10,8 – 33); Cu (44,6 – 87,4); Zn (273,4 – 587,2); Pb (32,1 – 36) e Cr (36,8 – 83,3).

4.0. DETERMINAÇÕES DE pH, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, TEMPERATURA, SÓLIDOS E METAIS NOS LODOS DE REATOR UASB

4.1. INTRODUÇÃO

A aplicação de reatores anaeróbios para esgoto sanitário como principal unidade de tratamento teve início na década de 1980, principalmente na Holanda, Brasil, Colômbia, Índia e México (FORESTI et al., 1999).

Na Holanda foi inicialmente desenvolvido e largamente aplicado o reator de manta de lodo (CHERNICHARO, 1997). No final da década de 1970, também foi desenvolvido, naquele País, uma versão moderna do reator de manta de lodo, com distribuição do esgoto em vários pontos do fundo do reator e com separador de fases (decantador e defletor de gases) na parte superior, que ficou conhecido como UASB. Os modelos mais utilizados atualmente são variações do UASB (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999).

No Brasil, em estados como São Paulo, Paraná, Distrito Federal, Pará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, Pernambuco e Paraíba, o reator de manta de lodo é utilizado para tratamento de esgotos desde a década de 1980. A função e os modelos deste reator têm evoluído tecnologicamente em virtude da grande liberdade de projeto, podendo ser ainda bastante aperfeiçoado em detalhes construtivos (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999).

Os reatores anaeróbios de manta de lodo foram inicialmente concebidos para o tratamento de efluentes industriais com estruturas cilíndricas ou prismático-retangulares, onde as áreas dos compartimentos de digestão e de decantação eram iguais, configurando-se, portanto, reatores de paredes verticais. No projeto de reatores tipo UASB tratando esgotos de baixa concentração o dimensionamento é feito pelo critério de carga hidráulica, e não pela carga orgânica. Nessa situação, a manutenção de baixas velocidades superficiais passa a ser de fundamental importância para a retenção de biomassa no sistema e para a estabilidade do processo. Como consequência, ocorre a redução na altura do reator e o aumento de sua seção transversal, a fim de garantir a manutenção das velocidades ascensionais dentro das faixas adequadas. Para o atendimento a populações maiores, quando a modulação se torna necessária, os reatores retangulares passam a ser mais indicados, uma vez que a parede pode servir a dois módulos adjacentes (CHERNICHARO, 1997).

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo é um tanque no qual os esgotos são introduzidos na parte inferior e os efluentes saem na parte superior, estabelecendo um fluxo ascendente, por meio de uma zona de reação constituída por grânulos ou flocos que contêm elevada concentração de microorganismos e atividade, e das bolhas de gás. O sistema é auto-misturado pelo movimento ascendente das bolhas do biogás e do fluxo de esgotos através do reator. Esse reator não necessita de qualquer equipamento especial para seu funcionamento, assim o consumo de energia elétrica, é sensivelmente menor que aquele necessário para o funcionamento do sistema de aeração de estações (por exemplo, o processo de lodos ativados). (CHERNICHARO, 1997; ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999; CAMPOS, 2000).

No sistema anaeróbio, uma das rotas de conversão da matéria orgânica é a do crescimento bacteriano. Devido às baixas taxas de crescimento das bactérias anaeróbias tem-se uma baixa produção de sólidos biológicos no sistema de tratamento, que vem a constituir-se no lodo, o qual deve ser descartado periodicamente. Essa baixa produção de lodo (da ordem de 0,10 a 0,20 kg SST/kg DQO_{apl}) surge como uma das principais vantagens dos processos anaeróbios em relação aos aeróbios (CHERNICHARO, 1997).

No caso do tratamento de efluentes solúveis, a produção de lodo excedente é muito baixa e geralmente poucos problemas são encontrados no manuseio, armazenamento e disposição final do lodo. Em decorrência da baixa produção e das elevadas concentrações do lodo no reator, os volumes descartados também são muito pequenos, principalmente se comparados com os processos aeróbios (CHERNICHARO, 1997).

Nos reatores anaeróbios, a acumulação de sólidos biológicos se dá após alguns meses de operação contínua. A taxa de acumulação de biomassa depende essencialmente da composição química do esgoto que está sendo tratado, a qual é maior quando o esgoto afluente apresenta elevada concentração de carboidratos e sólidos suspensos. A acumulação de sólidos não biodegradáveis deve-se ainda à presença de carbonato de cálcio ou de outros precipitados minerais além do decaimento de lodo ativo. Quando predomina a acumulação de sólidos que não sejam originados do crescimento bacteriano, esta pode ser reduzida através de um pré-tratamento (coagulação, floculação, decantação). Em situações onde ocorre a acumulação de sólidos inertes (ex.: areia) na parte inferior do reator, deve-se efetuar, periodicamente, o descarte de lodo. (CHERNICHARO, 1997).

Nos reatores de manta de lodo, as alturas são funções essenciais do tipo de lodo, das cargas orgânicas aplicadas e, por conseguinte, das velocidades superficiais impostas ao sistema. No caso do tratamento de esgotos domésticos, em reatores que desenvolvem predominantemente o lodo tipo floculento, as velocidades superficiais impostas ao sistema conduzem a reatores com alturas úteis entre 4,0 a 5,0m, assim distribuídas (CHERNICHARO, 1997):

- i) altura do compartimento de decantação: 1,5 a 2,0m
- ii) altura do compartimento de digestão: 2,5 a 3,5m

Ao longo da altura do compartimento de digestão uma série de registros são instalados, a fim de possibilitar o monitoramento do crescimento e da qualidade da biomassa no reator (Figura 4.1). Uma das rotinas operacionais mais importante no sistema de tratamento consiste em se avaliar a quantidade e a atividade da biomassa presente no reator, através de dois mecanismos básicos (CHERNICHARO, 1997):

- i) determinação do perfil de sólidos e da massa de microrganismos presentes no sistema.
- ii) avaliação da atividade metanogênica específica da biomassa

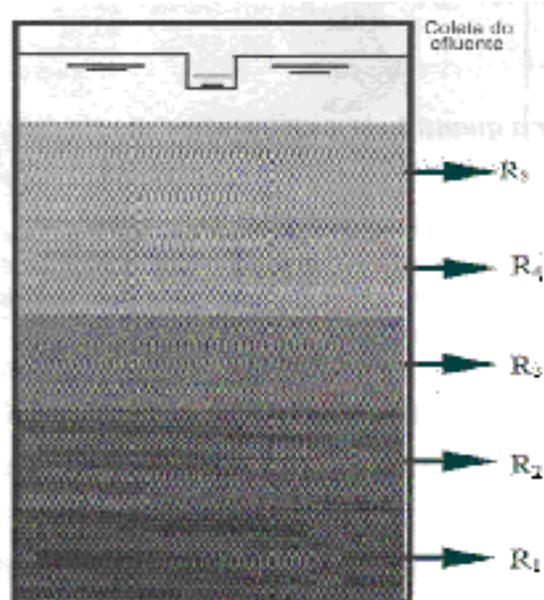


Figura 4.1 – Representação esquemática de um compartimento de digestão do reator UASB com cinco pontos de amostragem.

Fonte: adaptado de CHERNICHARO, 1997.

No reator, o perfil de sólidos varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas da parte inferior (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo) (Figura 4.2). O lodo mais denso e com excelentes características de sedimentação normalmente se desenvolve no leito de lodo e apresenta uma concentração de sólidos totais da ordem de 4% a 10%, ou seja, em torno de 40 a 100 g ST/L. Pode ocorrer o desenvolvimento de grânulos de lodo (diâmetros de 1 a 5 mm), dependendo da natureza da sementeira, das características das águas residuárias e das condições operacionais do reator. Acima do leito de lodo desenvolve-se uma zona de crescimento bacteriano mais disperso, denominada manta de lodo, em que os sólidos apresentam velocidades de sedimentação mais baixas. A concentração do lodo nessa zona usualmente varia entre 1,5% a 3%. O lodo na região da manta deve ser bem adaptado, com alta atividade metanogênica específica (AME) e excelente sedimentabilidade. A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), embora esta seja mais pronunciada no leito de lodo (CHERNICHARO, 1997).

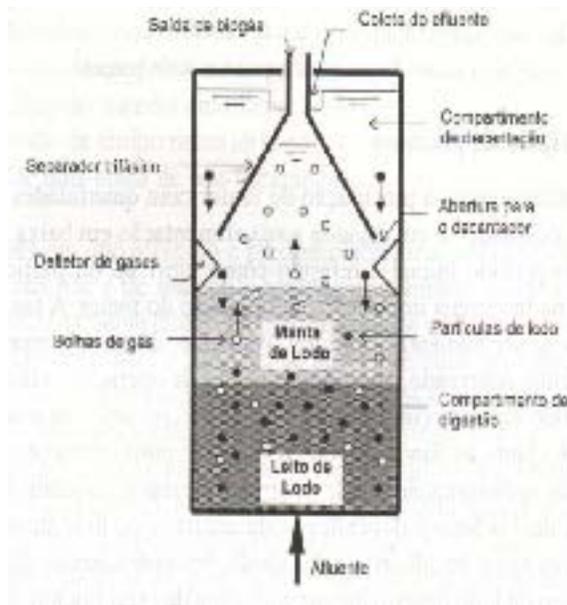


Figura 4.2 – Desenho esquemático de um reator UASB
Fonte: CHERNICHARO (1997)

Com o funcionamento do reator, ocorrer a separação de fases (sólidos, líquidos e gases) nos esgotos introduzidos. Devido às condições hidráulicas impostas, os sólidos suspensos são, em grande parte, retidos no reator. Os microorganismos agrupam-se em flocos ou grânulos sedimentáveis em consequência de fatores físicos e bioquímicos e, assim, forma-se uma camada espessa de lodo, por meio da qual a matéria orgânica solúvel sofre, também, a ação dos microorganismos, presentes em alta concentração (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999). Com o movimento ascendente das bolhas de gás, ocorre o carreamento de lodo, sendo necessário a instalação de um separador trifásico (gases, sólidos e líquidos) na parte superior do reator, de forma a permitir elevados tempos de retenção e o retorno do lodo anaeróbio à câmara de digestão, ao invés de serem arrastados para fora do sistema. Na saída e acima do separador trifásico configura-se uma câmara de sedimentação (decantador interno), onde o lodo mais pesado é removido da massa líquida e retorna ao compartimento de digestão, enquanto as partículas mais leves são perdidas do sistema juntamente com o efluente final. O tempo médio de residência de sólidos no reator é mantido suficiente elevado para manter o crescimento de uma massa densa de microorganismos produtores de metano, apesar do reduzido tempo de detenção hidráulica (CHERNICHARO, 1997).

A qualidade da biomassa a ser desenvolvida no sistema dependerá de uma rotina operacional adequada e, por conseguinte, da estabilidade e da eficiência do processo de tratamento. Algumas características importantes dos lodos anaeróbios provenientes de reatores UASB são as seguintes (CHERNICHARO, 1997):

- i) elevado grau de estabilização, devido ao elevado tempo de residência celular no sistema de tratamento, o que possibilita o seu encaminhamento a unidades de desidratação (secagem) sem qualquer etapa prévia de tratamento
- ii) elevada concentração, usualmente da ordem de 3 a 5%, possibilitando o descarte de menores volumes de lodo
- iii) facilidade de desidratação;
- iv) possibilidade de utilização do lodo seco como fertilizante na agricultura, desde que tomados os devidos cuidados em função da presença de patógenos.

Este capítulo tem por objetivo verificar alterações das características físico-químicas das amostras de lodo anaeróbio coletadas nas oito células em diferentes profundidades do reator UASB.

4.2. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada ao longo da altura das oito células de um reator UASB, construído e localizado no bairro da Mangueira, na cidade do Recife-PE. As amostragens foram realizadas nos meses de agosto, setembro e dezembro de 2000, sendo coletadas as amostras de lodo anaeróbio fluido nas cinco tubulações de descarga de lodo de excesso (0,5 a 2,5m de altura da parte inferior do reator) nas oito células do reator UASB (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Pontos de amostragens do lodo de excesso a 2,5; 2,0; 1,5; 1,0 e 0,5m de altura da parte inferior do reator UASB

No mês de agosto de 2000 foi coletada amostra de lodo da célula 2 para caracterização dos seguintes parâmetros: umidade a 65 e 105°C, sólidos totais a 105°C, sólidos totais fixos e voláteis a 550°C e metais pesados.

No mês de setembro de 2000 foram coletadas amostras de lodos das oito células para a caracterização dos seguintes parâmetros: sólidos totais a 105°C, sólidos totais fixos e voláteis a 550°C, sólidos suspensos totais a 105°C, sólidos suspensos fixos e voláteis a 550°C.

No mês de dezembro de 2000 foram coletadas amostras de lodos das oito células para a caracterização dos seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica e temperatura.

Os métodos analíticos e os laboratórios utilizados foram aqueles já mencionados anteriormente para as análises realizadas no capítulo 3.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A variação nos teores dos sólidos totais e umidade de amostra de lodo coletada nas alturas de 0,5, 1,5 e 2,5m da célula 2 do reator UASB da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000 apresenta-se na Figura 4.4.

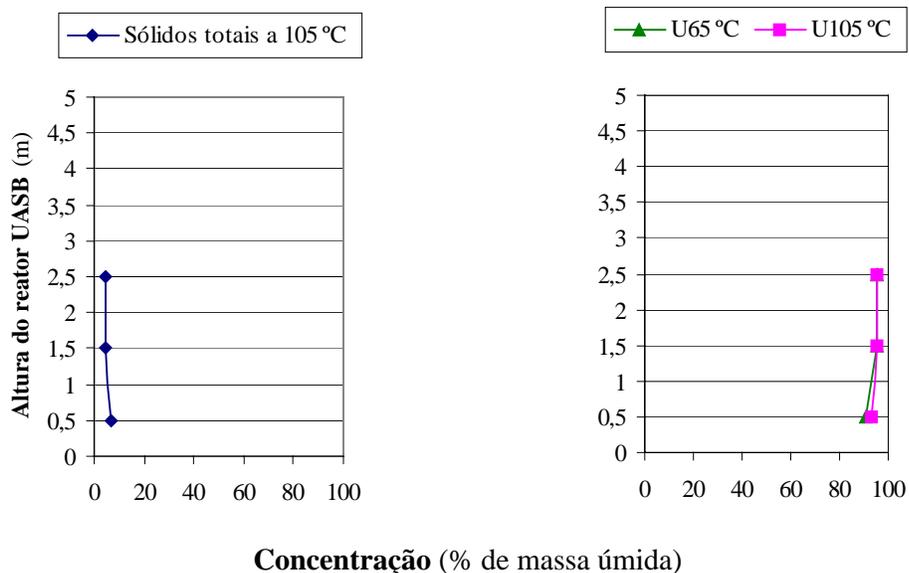


Figura 4.4 – Perfil de sólidos totais e umidade do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.

O teor de sólido total decresceu (6,8%; 4,9% e 4,3% de massa úmida) com o aumento na altura do reator e ocorreu o inverso com o teor de umidade a 65°C (90,8%; 95,1% e 95,6% de massa úmida) e 105°C (93,2%; 95,1% e 95,7% de massa úmida). Comprova-se a diferença na concentração de sólidos e conseqüentemente da umidade entre o leito e o manta de lodo no reator UASB. A variação nos teores dos sólidos totais fixos e voláteis de amostra de lodo coletada nas alturas de 0,5, 1,5 e 2,5m da célula 2 no mês de agosto de 2000 mostra-se na Figura 4.5.

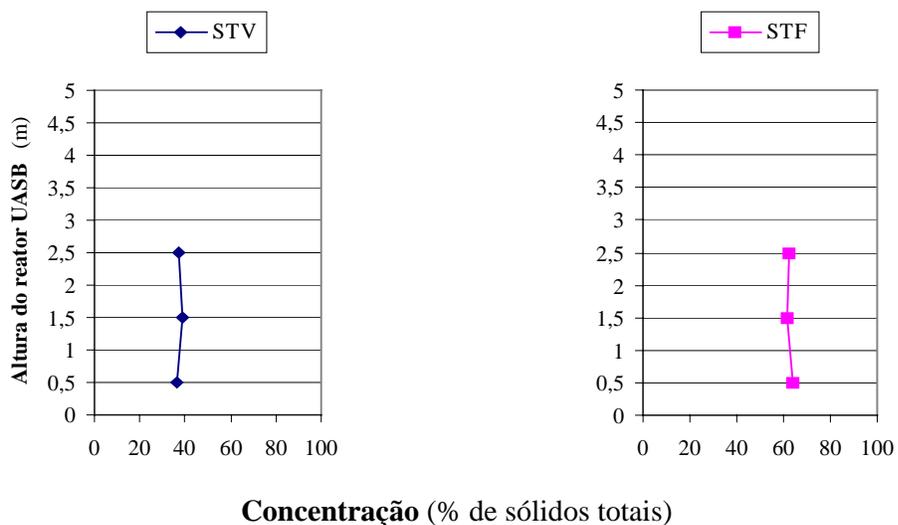


Figura 4.5 – Perfil de sólidos totais fixos e voláteis do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.

O teor do sólido total volátil (36,3%; 38,4% e 37,2% dos sólidos totais) aumentava com o aumento na altura do reator e o inverso ocorria com o teor dos sólidos totais fixos (63,7%; 61,6% e 62,8% de sólidos totais). Comprovou-se que as concentrações dos sólidos totais voláteis e fixos eram praticamente uniformes dentro do reator UASB. Comprovou-se que havia um grande acúmulo de sólidos inertes, esta grande fração de inertes talvez possa ser atribuído, ao menos em parte, ao lodo de esgoto doméstico digerido contém muitos sais (CORAUCCI FILHO *et al.*, 1999), e/ou ao super dimensionamento da bomba de recalque do afluente da estação e o desempenho ineficiente da caixa de areia que foi projetada para uma menor vazão de esgoto.

O lodo apresentava teores de sólidos voláteis (relação ao peso seco do lodo) superior ao valor estabelecido como indicador da eficiência da digestão do lodo para a utilização agrícola pela norma técnica da SANEPAR: 45 a 50%. Conseqüentemente, os teores de sólidos fixos (relação ao peso seco do lodo) do lodo eram superior ao limite considerado permitido: 30%.

Estes resultados mostram que deve ocorrer um aumento no número de descarga do lodo de excesso para remoção este material e/ou utilização dos dois canais da caixa de areia ao mesmo tempo para diminuir a quantidade de inertes no reator.

A variação nos teores de alumínio, cálcio e ferro na célula 2 da amostra de lodo coletada nas alturas de 0,5, 1,5 e 2,5 m no mês de agosto de 2000 revela-se na Figura 4.6.

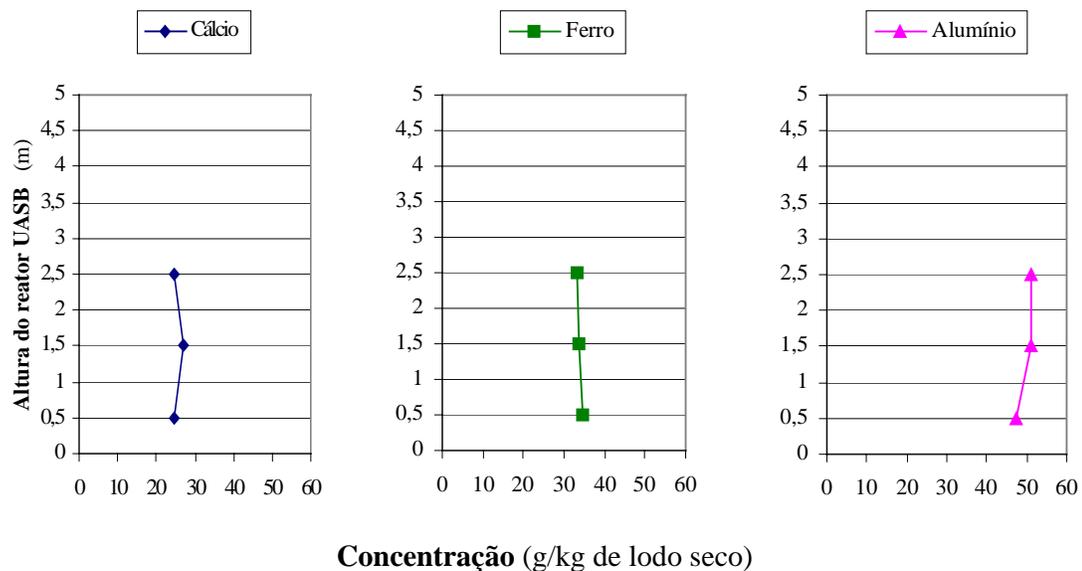
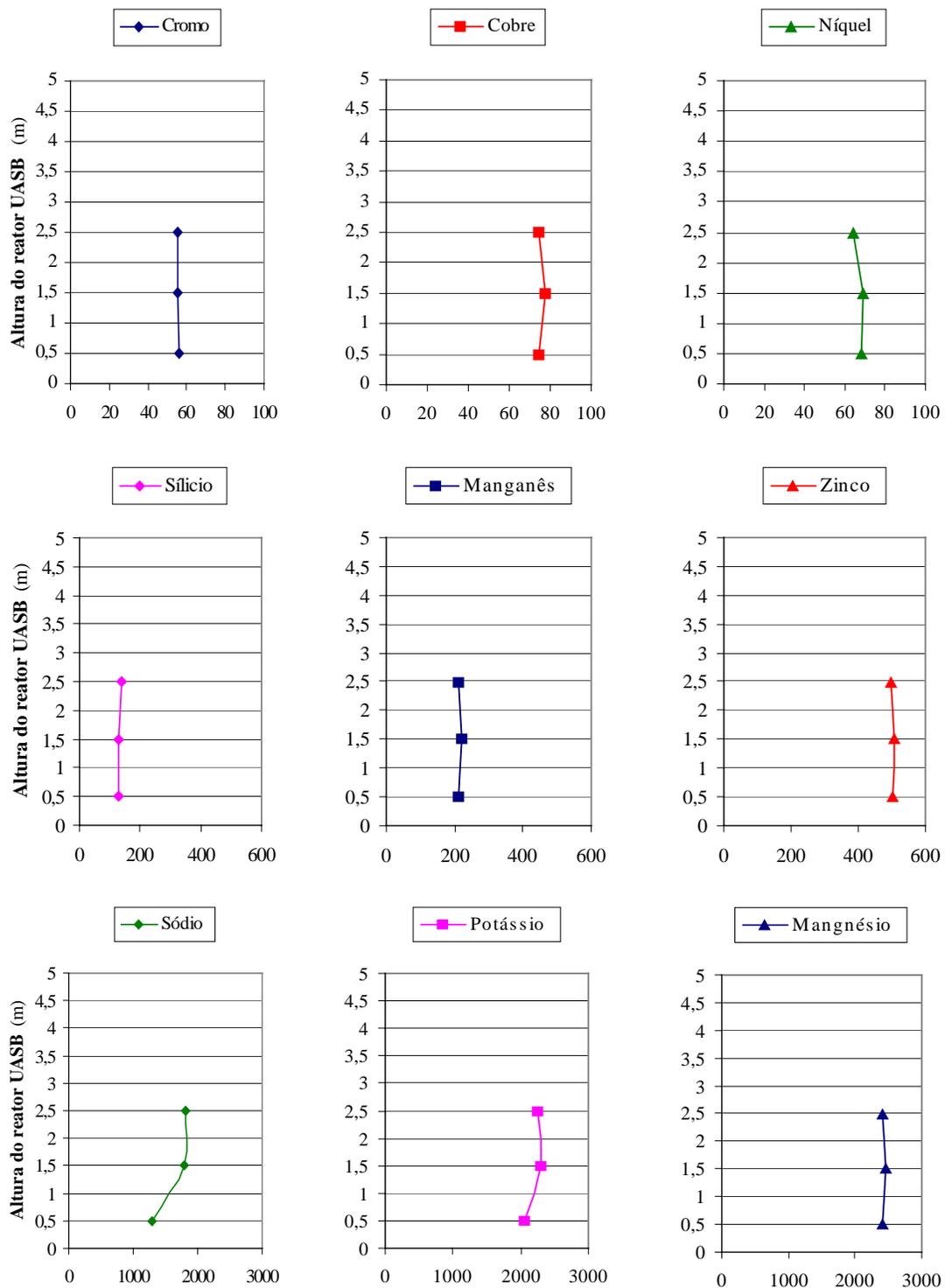


Figura 4.6 – Valores de alumínio, cálcio e ferro do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.

Uma pequena variação nas concentrações (g/kg de lodo seco) de Al (47,2 a 51,1), Ca (24,6 a 26,9) e Fe (33,3 a 34,5) foi observada nas três profundidades pesquisadas e as maiores concentrações apresentavam-se na altura de 1,5m, exceto o ferro que foi na profundidade de 0,5m. O lodo apresentava teores de metais (mg.kg^{-1} MS) mais altos do que o lodo do Paraná (Tabela 2.8): Al (8,5 a 14,0), e intermediário dos metais Ca (3,4 a 125,0) e Fe (4,0 a 50,2). Devido a grande concentração de alumínio no lodo a disposição final no solo ou aplicação na agricultura estará condicionada a um tratamento que corrija estes teores no lodo.

Esses resultados revelam que estes metais estão distribuídos uniformemente no interior do reator UASB e possivelmente isto se deve por estarem presentes nas células dos microorganismos (biomassa). Esses metais apresentavam-se em maior concentração no reator quando comparados com os demais metais pesquisados, que serão apresentados na Figura 4.7 e provavelmente devem ser provenientes da água de abastecimento, que possui uma grande concentração destes metais. CHERNICHARO (1997) relata que a presença de carbonato de cálcio ou de outros precipitados minerais depende essencialmente da composição química do esgoto que está sendo tratado além do decaimento de lodo ativo ocorrendo à acumulação de sólidos não biodegradáveis na biomassa.

A variação nos teores de cobre, cromo, manganês, magnésio, níquel, potássio, sódio, silício e zinco da amostra de lodo da célula 2 mostra-se na Figura 4.7.



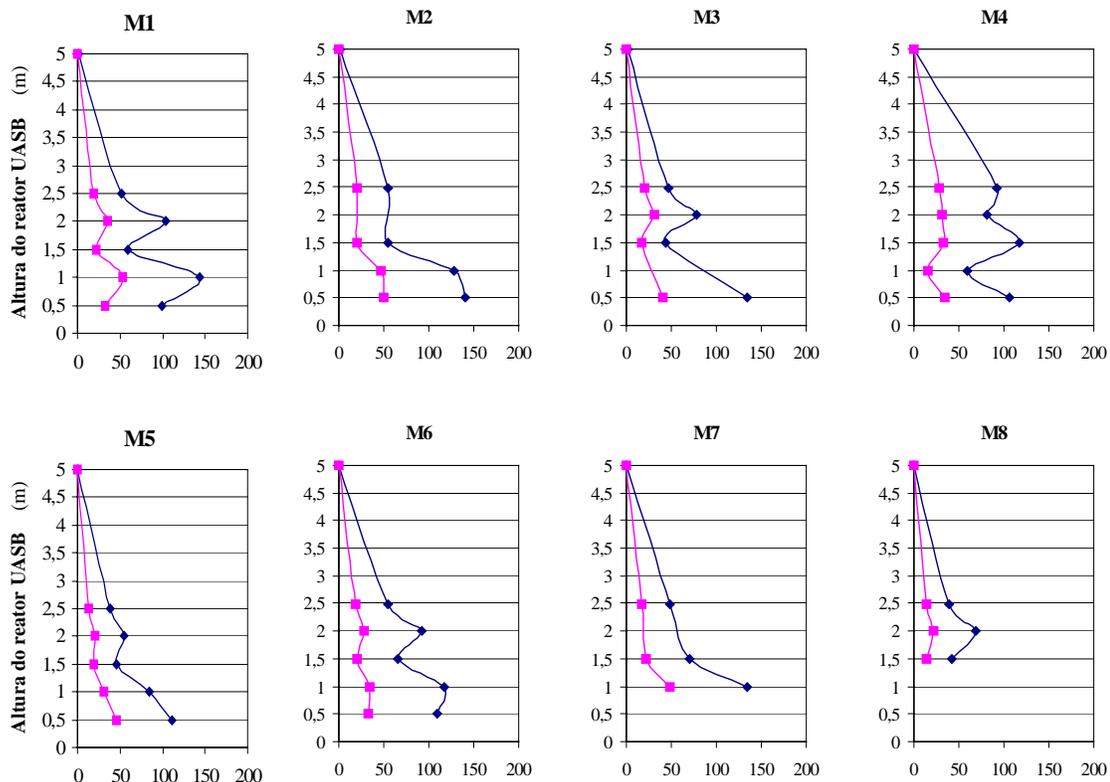
Concentração (mg/kg de lodo seco)

Figura 4.7 – Valores de cromo, níquel, cobre, silício, manganês, zinco, sódio, potássio e manganésio do lodo da célula 2 da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.

As concentrações (mg.kg^{-1} de lodo seco) de Cu (74,2 a 77,4), Cr (55,3 a 55,8), Ni (64,2 a 69,3), Mg (2400,0 a 2470,0), Mn (210,0 a 220,0), K (2060,0 a 2300,0), Si (130,0 a 140,0), Na (1300,0 a 1810,0) e Zn (499,2 a 509,2) permaneceram praticamente uniforme dentro do reator nas três profundidades pesquisadas, exceto para os metais potássio e sódio. Esses resultados mostram que os metais magnésio, potássio e sódio apresentaram maiores concentrações quando comparadas com os demais metais da Figura 4.7 devido aos fatos relacionados anteriormente. A maior concentração dos metais encontrou-se na altura de 1,5m, exceto o cromo que foi a 0,5m e, sódio e silício a 2,5m. Em situações onde ocorre a acumulação de sólidos inertes (ex.: areia) na parte inferior do reator, (CHERNICHARO 1997) deve-se efetuar, periodicamente, o descarte de lodo.

O lodo apresentava teores de metais pesados (mg.kg^{-1} base seca) abaixo dos limites considerados proibitivos para a aplicação agrícola em São Paulo: Cu (4300), Ni (420) e Zn (7500); e no Paraná: Cu (1.000), Cr (1000), Ni (300) e Zn (2500). Adicionalmente, o lodo apresentava teores de metais (mg.kg^{-1} MS) mais altos do que o lodo do Paraná (Tabela 2.8): Mg (1811,0 a 2300,0), e intermediário do metal Mn (190,0 a 649,0).

A variação nos teores dos sólidos das amostras de lodo coletadas nas diversas alturas ao longo do reator UASB da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000 vê-se na Figura 4.8.



Concentração de sólidos(g/L)

Figura 4.8 - Perfil de (●) sólidos totais e (■) sólidos totais voláteis do lodo das células 1 a 8 da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000. ETE Mangueira: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB.

A concentração média dos sólidos totais no lodo do reator UASB era de 84,7 g/L estando de acordo com a literatura (50 a 100 g/L) e no efluente das células estava na faixa de 0,53 a 0,80 g/L. Uma acentuada variação na concentração (g/L) dos sólidos totais das amostras de lodo foi observada nas profundidades de 0,5 m (99,4 a 140,6), 1,0 m (60,1 a 143,9), 1,5 m (41,9 a 117,4), 2,0 m (55,4 a 104,3) e 2,5 m (38,9 a 92,1), provavelmente devido a atividade crescente do lodo (aumento da produção e do movimento das bolhas de biogás) e/ou devido a fluxo preferencial do escoamento da água residuária causado por entupimento na tubulação de entrada das células que provoca um aumento da agitação e da mistura do esgoto suficiente para provocar a expulsão do lodo leve da parte inferior para superior da zona de digestão.

Estes resultados mostram que deve haver uma maior frequência na limpeza das tubulações de entrada da água residuária das células do reator.

O teor dos sólidos totais voláteis no lodo estava na faixa de 27 a 44,1 % de sólidos totais e no efluente das células estava na faixa de 83,5 a 94,8 % de sólidos totais.

O teor dos sólidos totais fixos no lodo estava na faixa de 55,9 a 73,0% de sólidos totais e no efluente das células estava na faixa de 5,2 a 16,5% de sólidos totais. Comprovou-se mais uma vez o grande acúmulo de material inerte no reator UASB.

A variação nos teores dos sólidos das amostras de lodo coletadas nas diversas profundidades ao longo do reator UASB da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000 apresenta-se na Figura 4.9.

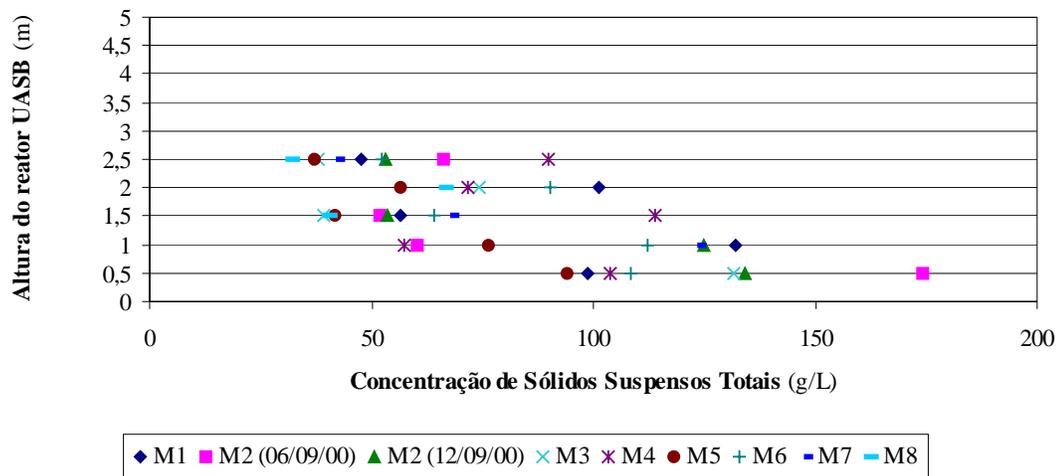


Figura 4.9 – Perfil de sólidos suspensos totais do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000. ETE Mangueira: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB.

Observou-se na Figura 4.9 que a concentração média dos sólidos suspensos totais no lodo no reator UASB era 81,1 g/L e a variação na concentração (g/L) nas profundidades de 0,5 m (93,9 a 174,1), 1,0 m (57,6 a 132,3), 1,5 m (39,4 a 113,8), 2,0 m (56,7 a 101,2) e 2,5 m (32,3 a 90,1) provavelmente foi devido aos fatores já citados anteriormente.

Na Figura 4.10 apresenta-se a relação entre os sólidos suspensos voláteis e suspensos totais das amostras de lodo coletadas nas diversas alturas ao longo do reator UASB da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000.

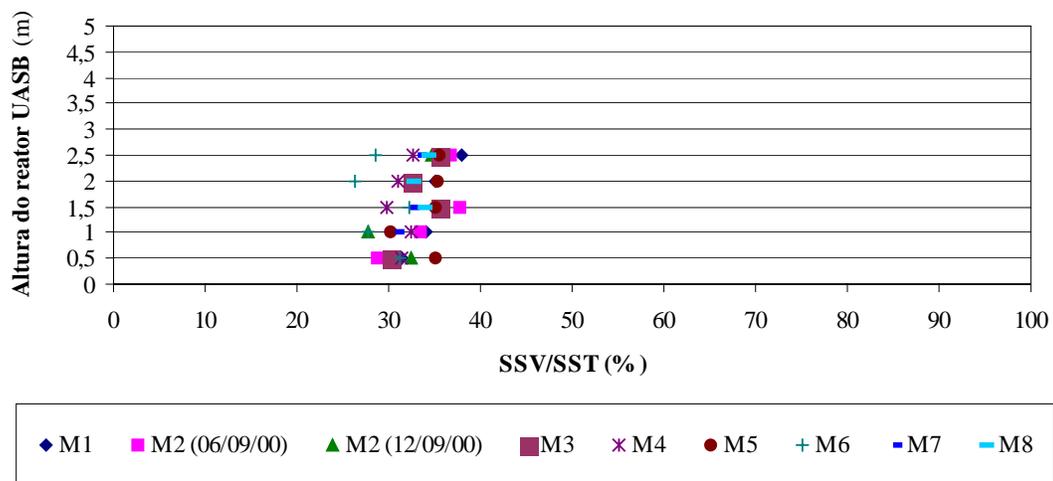


Figura 4.10 – Relação entre os sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos totais do reator UASB da ETE Mangueira no mês de setembro de 2000. ETE Mangueira: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB.

Verifica-se na Figura 4.10 que a razão SSV/SST estava na faixa de 26,4 a 37,9 % durante o período de observação para todas as profundidades. Estes dados corroboram com os resultados de materiais inertes (metais e sólidos totais fixos). Os valores de SSV/SST encontrados no lodo estavam abaixo da faixa citada como típica para lodo gerado em estações de tratamento de esgotos domésticos segundo JORDÃO e PESSOA (1995): 75 a 85% SV/ST.

Na Figura 4.11 observam-se as variações nas temperaturas das amostras de lodo coletadas nas diversas alturas ao longo do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000.

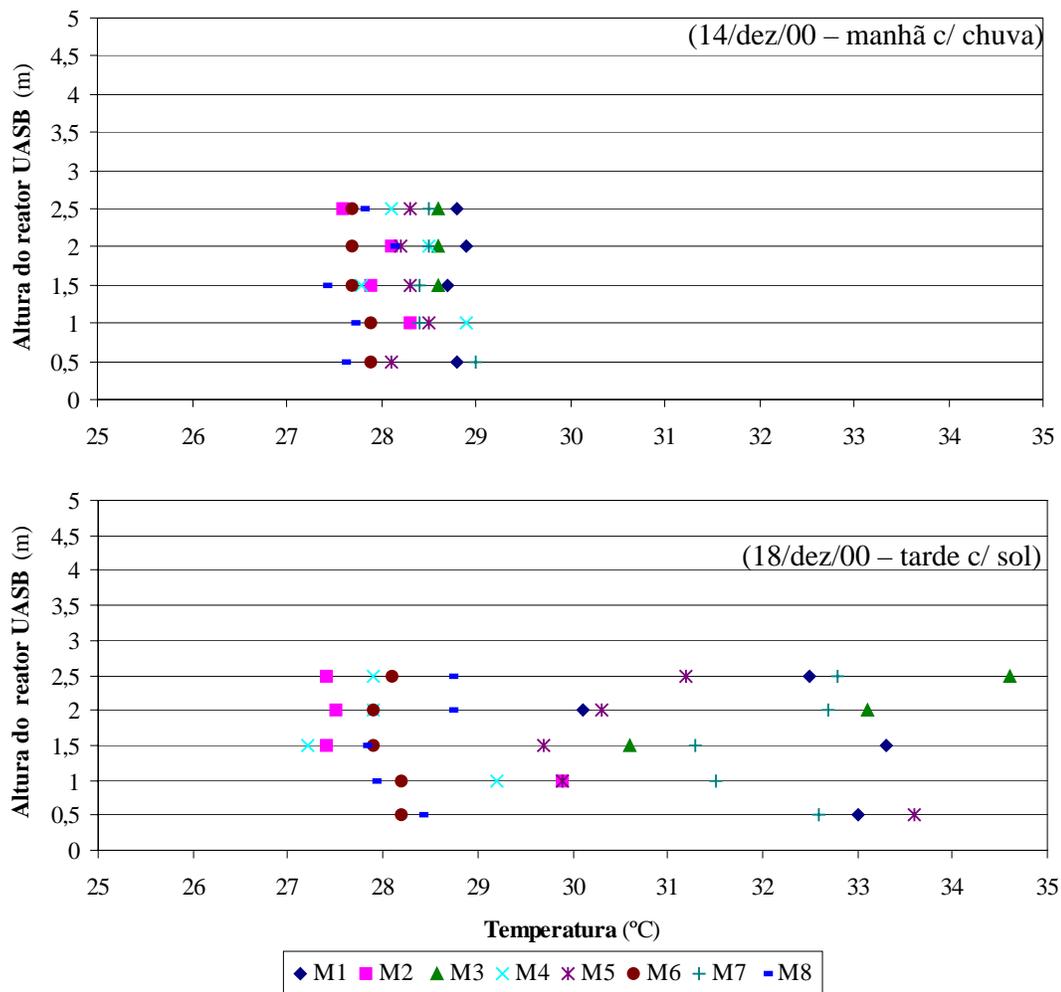


Figura 4.11 - Valores de temperatura do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000. ETE Mangueira: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB.

A temperatura do lodo no dia 14 de dezembro de 2000 (manhã com chuva) estava na faixa de 27,4 a 28,9 °C e no dia 18 de dezembro de 2000 (tarde com sol) estava na faixa de 27,2 a 34,6 °C. A temperatura nas duas situações não variou significativamente com a hora do dia estando na faixa mesofílica (20 a 45 °C) e não apresentava choques quanto a temperatura no reator UASB.

Na Figura 4.12 observam-se as variações nos valores de pH das amostras de lodo coletadas nas diversas alturas ao longo do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000.

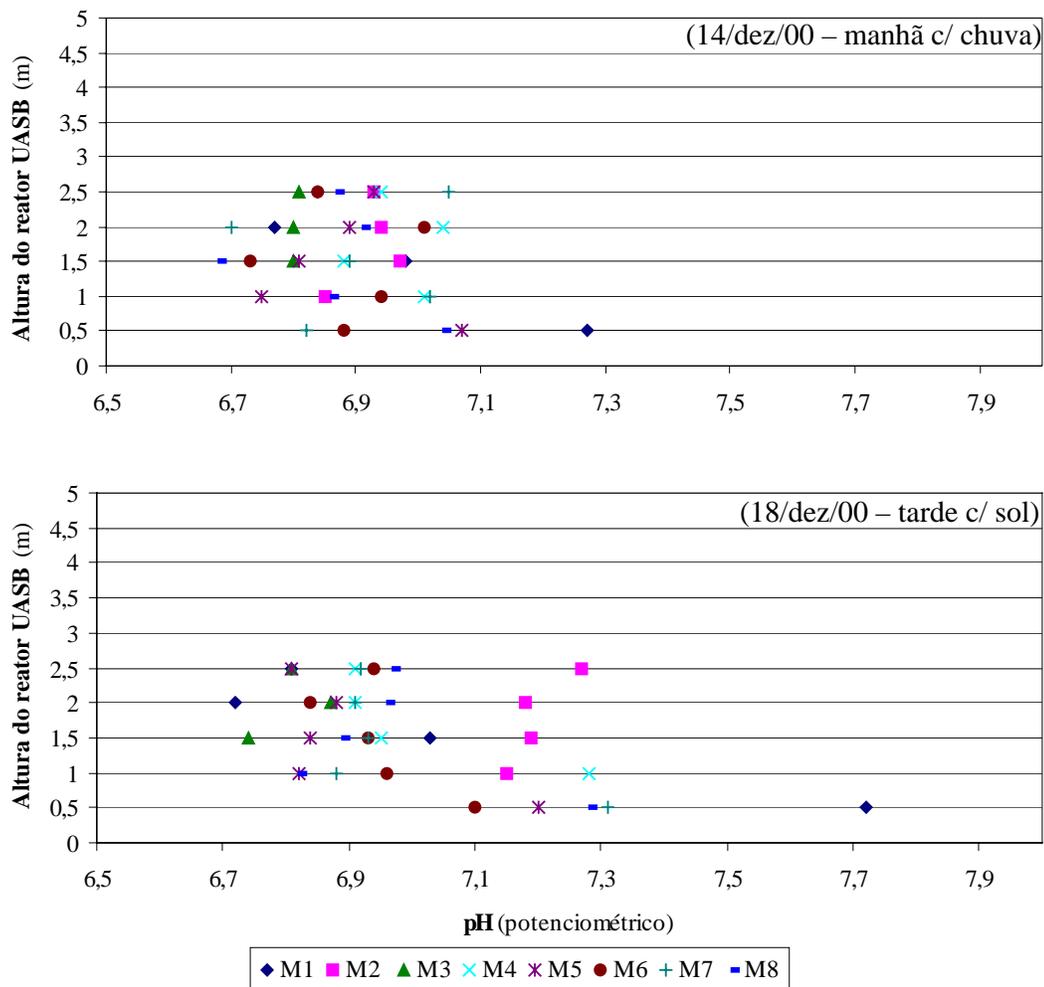


Figura 4.12 – Valores de pH do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000. ETE Mangueira: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB.

Em relação ao parâmetro pH do lodo os valores estavam na faixa de 6,7 a 7,7 nas duas situações não variando significativamente com a hora do dia mantendo-se dentro da faixa favorável à atividade microbológica para digestão anaeróbia (6,5 a 7,5). Segundo SPEECE (1996) citado por FORESTI et. al (1999), o reator pode ser operado em pH entre 6,5 e 8,2 sem prejuízo para digestão. Comprova-se mais uma vez que o reator UASB não apresentava choques.

As variações nos valores de condutividade elétrica das amostras de lodo coletadas nas diversas alturas ao longo do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000 observa-se na Figura 4.13.

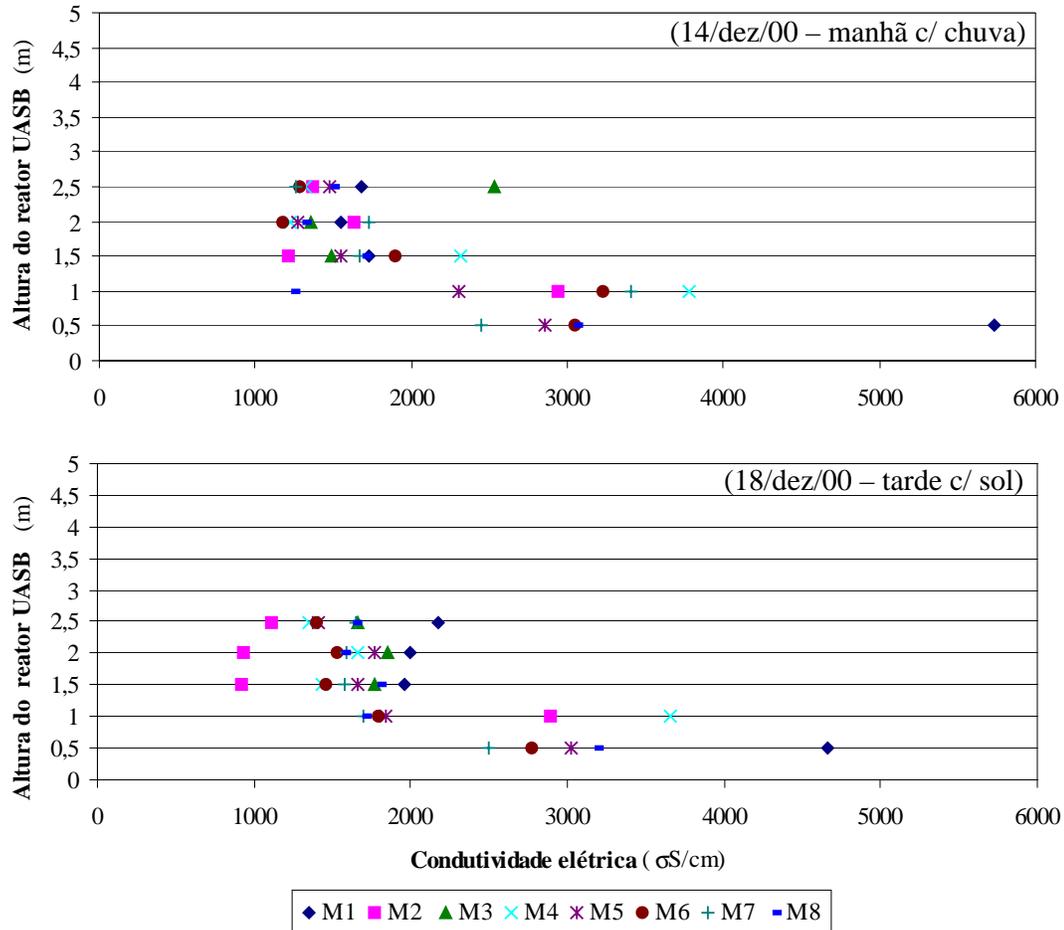


Figura 4.13 - Valores de condutividade elétrica do lodo das células do reator UASB da ETE Mangueira no mês de dezembro de 2000. ETE Mangueira: célula 1 (M1), célula 2 (M2), célula 3 (M3), célula 4 (M4), célula 5 (M5), célula 6 (M6), célula 7 (M7), célula 8 (M8) do reator UASB.

A condutividade elétrica do lodo estavam nas faixas de 1.212 a 5.740 $\sigma\text{S/cm}$ (14 de dezembro de 2000) e 926 a 4.660 $\sigma\text{S/cm}$ (18 de dezembro de 2000). Observa-se que os lodos das alturas de 0,5 e 1,0 m do reator UASB apresentavam maior condutividade do que as demais profundidades. A grande variação na condutividade elétrica do lodo do reator UASB pode ser atribuída, em parte, a água de abastecimento que contém grande concentração de sais metálicos, e/ou a RMR esta localizada na zona litorânea onde ocorre a influência da intrusão

do sal marinho nos poço d'água (com a falta d'água ocorre um grande consumo d'água de poço salobra) e/ou trazido pelos banhistas às residências no verão.

4.4. CONCLUSÕES

As concentrações médias dos sólidos totais (84,7 g/L) e suspensos totais (81,1 g/L) no lodo do reator UASB da ETE Mangueira denota que embora o comportamento do perfil do lodo variou nas diversas profundidades, os dados estavam de acordo com a literatura (50 a 100 g/L).

Os teores de sólidos totais voláteis (27 a 44,1 % dos ST) e suspensos voláteis (26,4 a 37,9 % dos ST) demonstram divergência com a variação encontrada na literatura (75 a 85%), comprovando, portanto um grande acúmulo de material inerte concentrado dentro do reator.

Os resultados obtidos das concentrações de cobre (74,2 a 77,4), cromo (55,3 a 55,8), níquel (64,2 a 69,3) e zinco (499,2 a 509,2) no lodo pesquisado do reator UASB da ETE Mangueira não provocariam degradação da qualidade ambiental, deste modo, poderiam ser utilizado como fertilizador de solos, uma vez que, estavam dentro do especificado pelas legislações (SANEPAR e CETESB) vigente no Brasil.

Devido à expressiva concentração de alumínio (47,2 a 51,1 g/kg de MS) no lodo, os dados sugerem que a disposição final no solo ou aplicação na agricultura estará condicionada a um tratamento que corrija estes teores no lodo.

A concentração (g/kg de MS) de ferro (33,3 a 34,5), cálcio (24,6 a 26,9), magnésio (2,4 a 2,4), potássio (2,06 a 2,3), sódio (1,3 a 1,81), manganês (0,21 a 0,22) e silício (0,13 a 0,14) praticamente uniforme dentro do reator UASB. A importância destes resultados deve-se ao fato do grande acúmulo de material inerte no lodo caracterizado, por conseguinte, possibilita concluir acerca que poderá ocorrer à troca de sais do lodo para o solo ocorrendo à salinização.

Pelo método utilizado na digestão das amostras para análise de metais pesados não foi possível confirmar que o grande acúmulo de material inerte no lodo caracterizado se deve à presença de areia, uma vez que, nas determinações metais (mg/kg de MS) como cobre (74,2 a 77,4), cromo (55,3 a 55,8), níquel (64,2 a 69,3), magnésio (2400,0 a 2470,0), manganês (210,0 a 220,0), potássio (2060,0 a 2300,0), sódio (1300,0 a 1810,0) e zinco (499,2 a 509,2) apresentaram concentrações mais altas que o silício (130,0 a 140,0).

Os dados sugerem que devido ao acúmulo dos metais alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio, sódio e silício do lodo no reator da ETE mangueira deve-se efetuar o descarte periodicamente de lodo e haver uma maior frequência na limpeza das tubulações de entrada da água residuária das células do reator em consequência da acentuada variação na concentração (g/L) dos sólidos totais observadas nas cinco profundidades estudadas.

Os valores de pH (6,7 a 7,7), temperatura (27,4 a 34,6 °C.) e condutividade elétrica (926 a 5.740 µS/cm) no lodo pesquisado apresentavam-se dentro dos especificados na literatura sobre a área.

5.0. DETERMINAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DOS LODOS DE REATOR UASB EM LEITO DE SECAGEM

5.1. INTRODUÇÃO

A fração de água no lodo pode ser dividida em quatro categorias, conforme a natureza e a facilidade de separação da fase líquida (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999; SMOLLEN e KAFAAR, 1994 citado por REALI, 1999) (Figura 5.1):

- i) Água livre: água não associada com partículas sólidas e pode ser separada por filtração ou pela força gravitacional (adensamento ou flotação). Esta fração é a maior e se compõe de cerca de 70% da água total.
- ii) Água adsorvida ou de hidratação: água quimicamente ligada à superfície das partículas sólidas em suspensões e coloidais. Parte dessa água pode ser removida por forças mecânicas (diferença de pressão) ou através da adição de um flocculante.
- iii) Água ligada ou intersticial ou capilar: água ligada mecanicamente aos sólidos por forças capilares, a qual se encontra presa aos interstícios dos flocos. A distinção dessa água com a adsorvida é sutil e reside basicamente no fato que as forças necessárias para liberar a água capilar são maiores. As duas frações juntas constituem cerca de 20% da água total.
- iv) Água celular ou vicinal: constituída por múltiplas camadas de moléculas de água fisicamente ligadas, as quais se encontram firmemente presas à superfície da partícula por meio de pontes de hidrogênio. Esta água faz parte dos sólidos em suspensão e só pode ser removida através do rompimento celular. Isto é impossível mecanicamente mas pode ser conseguido com meios biológicos ou através de mudança de estado de agregação da água (congelamento, evaporação). A água celular é em torno de 10% do total.

As características de retenção de água dos lodos são determinadas pelas quantidades relativas dessas diferentes frações de água e, conseqüentemente, do desempenho dos sistemas de remoção utilizados (REALI, 1999).

A redução do teor de água é realizada por processos físicos (adensamento, filtração, flotação, evaporação), eventualmente precedidos por processos preparatórios que visem facilitar e/ou acelerar o processo de separação de água. Nestes processos a separação de

sólidos e líquidos tende a aumentar a concentração de lodo seco e diminuir a massa de material orgânico em 30 a 50% (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

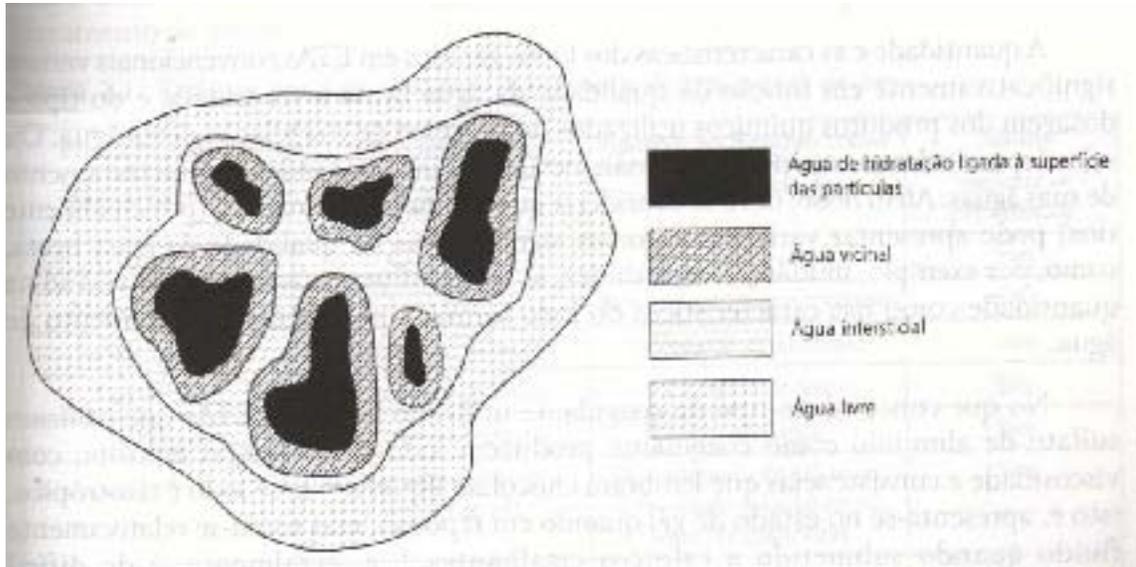


Figura 5.1 – Distribuição da água no floco de lodo. **Fonte** : SMOLLEN e KAFAAR (1994) citado por REALI (1999)

O grau de desidratação influi nas características físicas do lodo (líquido, pastoso ou sólido) (ANDREOLI e FERNANDES, 1999). Na Figura 5.2 são indicados os teores de água (umidade) para o lodo deixar de ter característica de um fluido (95% – 90%) e se transformar numa torta semi-sólida (75% – 70%), se tornar um sólido duro e quebradiço (65% – 40%), ficar granulado (40% – 15%) e se transformar num pó fino (abaixo de 15% de água) (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

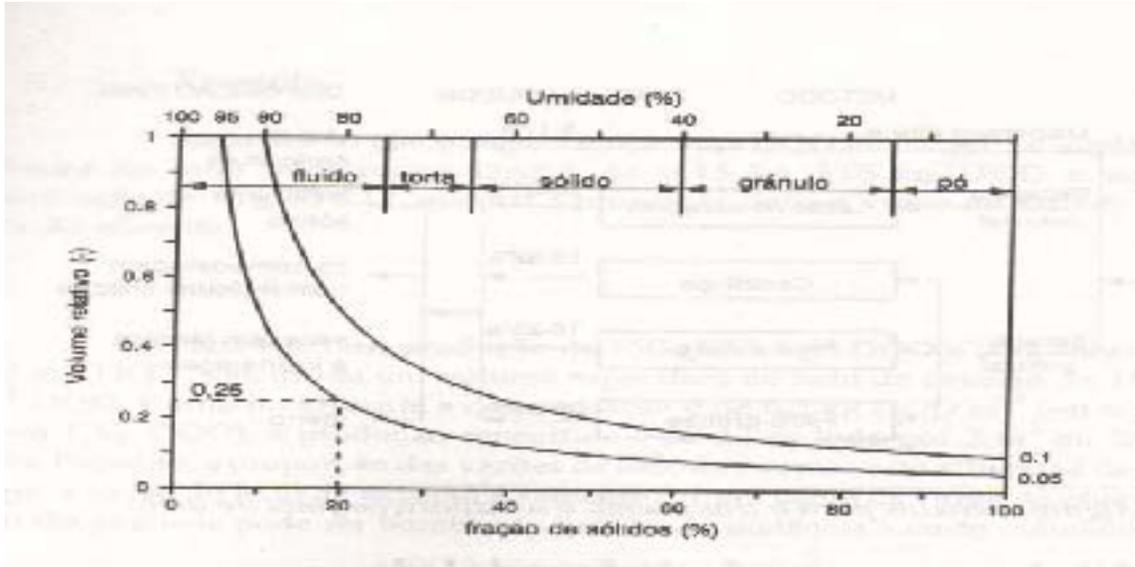


Figura 5.2 – Relação entre o volume de lodo e a fração de sólidos ou umidade. **Fonte** – VAN HAANDEL e MARAIS (1999).

O teor de sólidos de um lodo é um parâmetro determinante no volume final de lodo a ser tratado e disposto. Na Figura 5.3 observa-se pela curva que quando o teor de sólidos é muito baixo, uma pequena variação deste teor implica em grande diminuição do volume total (FERREIRA et. al.,1999).

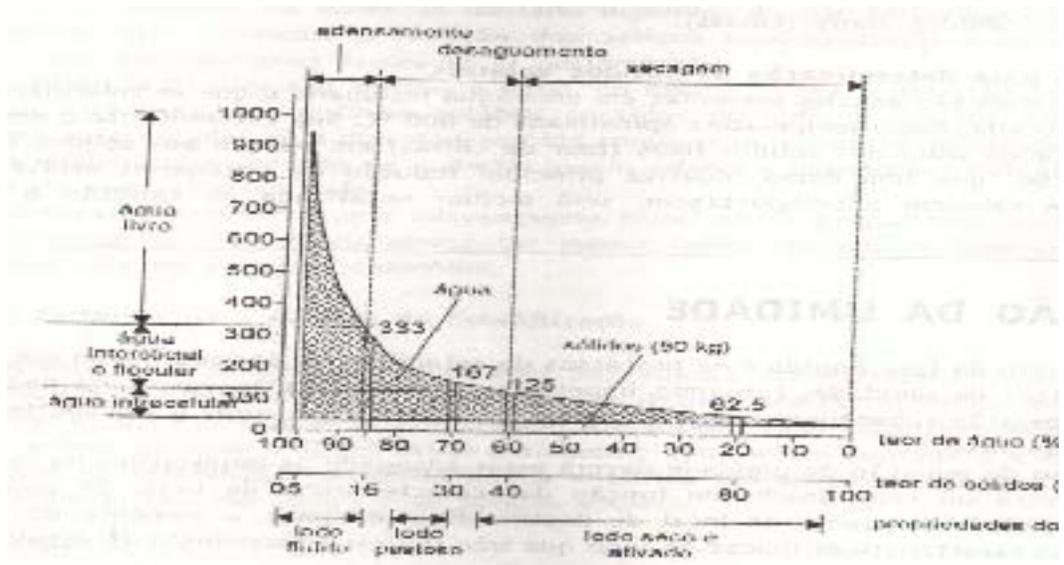


Figura 5.3 - Variação do volume de lodo em função do seu teor de água. Fonte: adaptado de METCALF e EDDY (1991) citado por FERREIRA et. al. (1999).

Uma pequena remoção de umidade produz uma alta redução do volume inicial, como demonstra a fórmula simplificada (HAMMER, 1979):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1004 H_2}{1004 H_1}$$

Onde

V_1 = volume de lodo com umidade H_1

V_2 = volume de lodo com umidade H_2

A remoção da água do lodo é um processo fundamental para a redução de seu volume e, conseqüentemente, influirão de maneira decisiva na sua manipulação, diminuição dos custos com transporte, facilidade do seu destino final e equipamento de espalhamento no campo (NEDER e PINTO, 1991; FERNANDES, 1999; FERREIRA et. al., 1999). O sistema de condicionamento e transporte do lodo deve ser fixado inter-relacionando o grau de umidade, a redução de volume e o teor de sólidos (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

O teor de umidade (ou sólidos) do lodo é um parâmetro importante no tratamento do lodo com vista à sua estabilização e/ou redução do teor de umidade para a disposição final dos lodos; aumento do poder calorífico do lodo com vistas a preparação para incineração e redução do volume para disposição em aterro sanitário ou uso na agricultura; redução do custo de transporte para o local de disposição final; melhoria nas condições de manejo do lodo (FERNANDES, 1999; ALEM SOBRINHO, 2000; GONÇALVES e LUDUVICE, 2000).

O grau de umidade e o processo de tratamento deve ser selecionado em função dos seguintes fatores: (1) localização e porte de ETE; (2) características dos lodos produzidos nas suas diferentes fases de tratamento, manuseio e do destino que se pretende dar ao lodo; (3) tipo de estabilização utilizada (biológica anaeróbia ou aeróbia, ou química); (4) tipo de equipamento utilizado; (5) processo de tratamento técnico e economicamente viável; (6) local de destino final do lodo descartado da ETE (HAMMER, 1979; FERNANDES, 1999; ALEM SOBRINHO, 2000).

A alternativa de disposição final seleciona o sistema de secagem (FERREIRA et. al., 1999). Os lodos a serem compostados devem passar previamente por processo de desaguamento ou desidratação para eliminar o excesso de água. No composto, o teor ótimo de umidade, de modo geral, situa-se entre 50 e 60%. Elevados teores de umidade (>65%) fazem

com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que provoca aparecimento de zonas de anaerobiose. Para a utilização do lodo na compostagem, caso a desidratação avance até produzir lodo na consistência sólida, poderá haver falta de umidade na mistura a ser compostada. Se o teor de umidade de uma mistura é inferior a 40%, a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação (FERNANDES, 1999).

Segundo AISSE e ANDREOLI (1999), para as companhias de saneamento interessa obter valores de torta de lodo superiores a 20% como sólidos totais (ST). Já que, biossólido úmido (80 a 90% de água) dificulta seu transporte onerando o custo e sua manipulação no campo, além do odor desagradável que causa rejeição do produto pelos operadores, manipuladores e usuários em geral.

Mas, uma secagem a teor de até 30% de água pode mudar o perfil do produto, melhorando suas propriedades físicas e facilitando seu manuseio (SILVA, RESK e SHARMA, 2000).

5.1.1. PROCESSOS DE DESIDRATAÇÃO DO LODO

Os processos de desidratação podem ser naturais ou mecânicos. Os processos naturais são constituídos, basicamente, de leitos de secagem, lagoas de lodo e disposição do lodo no solo, como são dependentes do clima, favorece-se a sua adoção em regiões quentes. Os processos naturais são bastante adequados para pequenos sistemas situados em regiões onde não existem restrição quanto a área e com clima semelhante ao do Brasil. Para que o sistema de desidratação natural possa ser empregado, é necessário que o lodo esteja bem digerido, para facilitar sua drenagem e não provocar maus odores. Os processos mecanizados são mais vantajosos para ETEs de médio e grande porte situadas em regiões metropolitanas com produções maiores de lodo, com restrição de espaço ou com clima desfavorável aos processos naturais de secagem. Os principais equipamentos utilizados para a desidratação mecânica são: prensa desaguadora, filtros prensa de placas, filtros prensa de esteiras, filtro a vácuo e centrifugas tipo decanter (AISSE et.al., 1999; FERNANDES, 1999; FERREIRA et. al., 1999; GONÇALVES e LUDUVICE, 2000).

Segundo CORDEIRO (1999) o sistema de desidratação natural é afetado por inúmeros parâmetros tais como: temperatura, umidade do ar, viscosidade do lodo e ventilação. O clima

brasileiro tem vários aspectos positivos que devem ser aproveitados, principalmente quanto à etapa de evaporação, pois a insolação, os ventos, a temperatura são favoráveis à aplicação desse método.

Em determinadas situações a secagem natural do lodo pode promover uma redução considerável de microorganismos patogênicos devido a exposição prolongada do material aos raios solares, que eleva a temperatura do lodo (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

5.1.2. LEITOS DE SECAGEM

Os leitos de secagem são unidades de tratamento, geralmente em forma de tanques rasos retangulares, projetadas e construídas de modo a receber o lodo dos digestores, ou de unidades de oxidação total (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

Os leitos de secagem são caixas com fundo falso e um sistema de drenagem, sobre o qual é colocada uma camada de britas, seguida de uma camada de areia. Sobre a areia normalmente são assentados tijolos perfurados capazes de manter a estabilidade mecânica do sistema e ao mesmo tempo permitir a passagem do excesso de água. Eles geralmente ficam ao ar livre, mas podem também ser dotados de cobertura que impeça a entrada da água de chuva, porém com abertura laterais para facilitar a evaporação. A condição para seu uso é que o lodo seja bem estabilizado, pois desta forma o lodo será facilmente drenável e não apresentará problemas de odor (FERNANDES, 1999; FERREIRA et. al., 1999).

O princípio de funcionamento dos leitos de secagem envolve basicamente duas etapas. A primeira é a fase da drenagem onde se processa a redução de umidade com a drenagem do excesso de água livre presente no resíduo (com lixiviação de nutrientes), que é percolada através do meio filtrante até atingir o sistema drenante e ser disposta adequadamente. Na segunda fase, o lodo fica sujeito à evaporação natural durante o período de secagem, onde a água liberada durante o período de secagem que não foi drenada, é removida principalmente por ação da radiação solar, dos ventos e sujeita às condições de umidade do ar, temperatura e precipitações (IMHOFF e IMHOFF, 1986; CORDEIRO e CAMPOS, 1996; FERNANDES, 1999; FERREIRA et. al., 1999).

O tempo necessário para um ciclo de secagem do lodo, num leito de secagem, se compõe de quatro períodos diferentes (AISSE e ANDREOLI, 1999).

$$T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \text{ (dias)}$$

Onde:

T_1 = tempo para preparação do leito e descarga do lodo;

T_2 = tempo de percolação;

T_3 = tempo de evaporação para se atingir a fração desejada de sólidos;

T_4 = tempo para remoção dos sólidos secos.

Os períodos T_1 e T_4 dependem essencialmente de fatores relacionados com a gerência do lodo.

Os ciclos de secagem variam de 25 a 35 dias. A operação de extração do lodo do leito de secagem pode ficar mais difícil se o mesmo estiver no estado pastoso. O lodo a ser removido apresentará teor de sólidos de 40 a 75% que dependerá das condições climáticas e do período de secagem, o que significa um lodo bem concentrado (FERNANDES, 1999; FERREIRA et. al., 1999).

O lodo deve ser retirado do leito de secagem tão rápido quanto possível, após atingir teores de sólidos em torno de 30%, para não dificultar sua remoção posterior. Além disso, a permanência prolongada do lodo nos leitos promove o crescimento de vegetação (Figura 5.4) que, além de mostrar indícios de mal planejamento de operação da ETE, atrapalha de forma considerável sua retirada (LIMA e GONÇALVES, 1999). Segundo IMHOFF e IMHOFF (1986), no lodo digerido a maioria das sementes das pragas vegetais (ervas daninhas) é destruída, mas as de tomate não perdem seu poder germinativo.

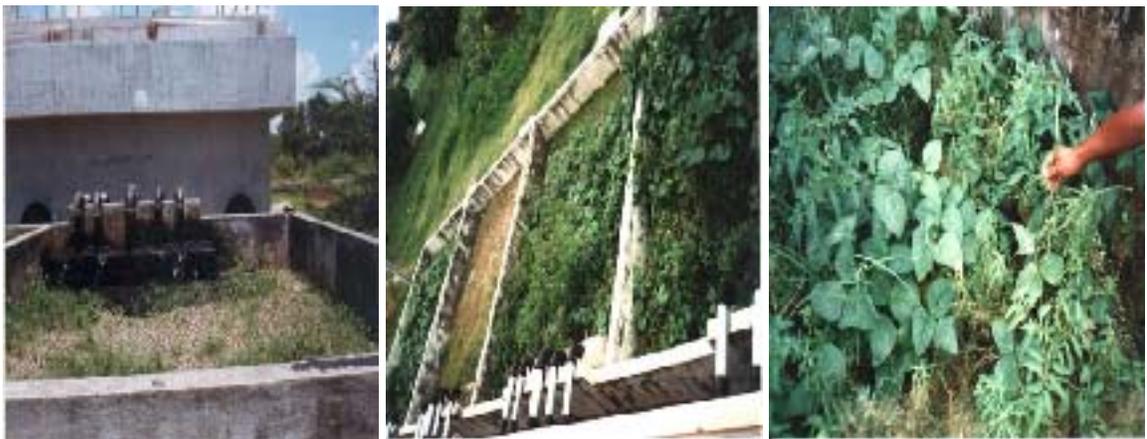


Figura 5.4 - Crescimento de vegetação nos leitos de secagem da ETE Mangueira.

Segundo CORDEIRO e CAMPOS (1996) as vantagens do sistema de leitos de secagem são: (i) operação simples; (ii) necessidade de pouco ou nenhum condicionamento químico; (iii) baixo custo inicial de implantação, quando o custo da terra é baixo; (iv) baixo consumo de energia e (v) necessidades operacionais pequenas. Como desvantagem do sistema eles citam: (i) necessidade de grandes áreas; (ii) tempo de secagem condicionado às condições climáticas e (iii) trabalho intensivo para remoção de lodo seco.

O sistema depende de diversos parâmetros, podendo ser citados: (i) ocorrência e duração de chuvas; (ii) intensidade e direção de ventos; (iii) radiação solar; (iv) umidade do ar; (v) viscosidade do lodo; (vi) resistência específica; (vii) filtrabilidade (CORDEIRO e CAMPOS, 1996).

Segundo YÜKSELEN (1998), TCHOBANOGLIOUS (1991) menciona que as características dos lodos como sedimentabilidade, tamanho das partículas e fração da matéria orgânica são de importância primária a desidratação de lodo em leito de secagem. Enquanto que os fatores ambientais como precipitação, umidade, velocidade do vento, temperatura do ar e radiação são de importância secundária para a liberação (perda) da água livre por secagem. Desta forma, pode-se secar os lodos que escoam bem rápidos em climas moderados durante 1 - 2 dias através de drenagem (desidratação rápida), seguida posteriormente por 2 - 5 semanas de desidratação lenta por evaporação.

A capacidade de desaguamento de lodo varia de acordo com o tipo de lodo estando diretamente relacionada com o tipo de sólido e a forma com que a água está ligada às partículas do lodo (GONÇALVES e LUDUVICE, 2000).

O lodo bruto é viscoso e volumoso, seca lentamente, apresentando cheiro insuportável. A decomposição é mais rápida em temperaturas mais elevadas, formando-se, também, maior quantidade de gás (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

O lodo secundário é mais difícil para desidratar do que o lodo preliminar, porque o seu constituinte principal é devido ao crescimento biológico, muita água está contida dentro da célula viva. Uma das melhores maneiras de tratar tal lodo é mistura-lo com o esgoto bruto de modo que possa remove-lo e tratá-lo em conjunto com lodo preliminar (NICOLL, 1989). Os lodos secundários diluídos são mais difíceis para processar e manusear que o lodo primário (HAMMER, 1979).

O lodo digerido é fluido, normalmente, atinge teores de umidade em torno de 96% e pode ser bombeado com facilidade. Devido à grande quantidade de água ainda presente no lodo torna-se necessário que o mesmo seja submetido a um processo de remoção de umidade, de modo que o manuseio (transporte, armazenamento e utilização) se realize em bases econômicas. Na ETE, o lodo digerido é lançado nos leitos de secagem, onde através de liquefação, evaporação e infiltração, seca com facilidade e não desprende maus odores durante a secagem, atingirá valores de 70% de umidade antes de ser removido dos leitos (HAMMER, 1979; IMHOFF e IMHOFF, 1986).

Segundo IMHOFF e IMHOFF (1986), o lodo digerido líquido perde a água intersticial rapidamente ao se espalhar sobre uma superfície arenosa, para efeito de secagem, o gás dissolvido na massa representa um papel importante no processo. O lodo é retirado da soleira dos digestores, onde está submetido a uma pressão elevada provocada pela coluna de água sobrejacente, e os gases formados em parte se dissolvem sob pressão. Ao deixar o tubo de descarga, a pressão da água se torna igual à atmosférica, as bolhas de gás se expandem e os gases antes dissolvidos são liberados. O lodo descarregado passa a espumar e seu peso específico aparente toma um valor inferior ao da água e flutuará sobre sua própria água por um processo análogo ao da flotação. Como consequência, já no primeiro dia se completa, por flutuação, a separação entre os sólidos e a maior parte da água intersticial do lodo. Após uma ou duas semanas completa-se a secagem por evaporação.

A eficiência de separação sólidos-líquido muitas vezes é sofrível por duas razões: (i) parte do lodo digerido tende a flotar quando se agrega à bolhas de biogás que sobem num digestor anaeróbio e (ii) no lodo digerido encontra-se uma alta fração de flocos microscópios que praticamente não sedimentam (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

A drenagem da água do lodo permite que a torta se rompa, provocando fissuras na superfície da torta (Figura 5.5). Essas fissuras permitem que na ocorrência de chuvas, a água permeie pela superfície da torta e o meio filtrante sem interferir, de forma violenta, no funcionamento do sistema (CORDEIRO, 1999). As fissuras da massa seca indicam a constituição do lodo fluido: (i) lodo seco com fendilhamento escasso e fino indica lodo bem digerido e de baixo teor de água, que, ao ceder o excesso de água, teve sua estrutura pouco modificada, substituindo principalmente a água intersticial por ar; (ii) fendas numerosas, de largura mediana, indicam lodo digerido de elevado teor de água em virtude do conteúdo de lodo ativado ou de coagulantes químicos, de modo que a maior parte da água teve de ser

eliminada por evaporação; (iii) fendas em pequena quantidade e de grande largura indicam lodo mal digerido, pegajoso, que requer longos períodos de tempo para a secagem por evaporação; (iv) lodo não-digerido pode ser identificado no leito de secagem pelo cheiro e também pelo fato de atrair moscas amarelas (*Eristalis tenax*), maiores que a mosca doméstica, fato este que nunca sucede com lodo digerido. Pode-se abreviar o tempo de secagem de lodo mal digerido pela adição de coagulantes (por exemplo, de sulfato de alumínio). No mesmo sentido age a elutriação do lodo (IMHOFF e IMHOFF, 1986).

Segundo ALEM SOBRINHO (2000), deve-se ter cuidado especial com o condicionamento (adição de sais de alumínio ou ferro mais cal, ou simplesmente com uso de polímeros) para a desidratação, resultando em lodos com características bem distintas e que poderá influir significativamente no seu destino final, particularmente quando se pensa em uso na agricultura. Dessa forma, a produção de lodo para disposição final será superior e dependerá da quantidade de produtos químicos utilizados.

Observando-se o perfil do lodo no leito de secagem, a parte superior seca mais rápido que a parte em contato com o fundo. Por esta razão, quando a umidade média do lodo atinge teores abaixo de 85%, a superfície do lodo no leito começa a apresentar rachaduras que vão evoluindo a medida em que a umidade diminui. A partir de 65 a 70% de umidade, a parte superficial do lodo torna-se impermeável e sólida, o que diminui a influência das águas de chuva na umidade da massa de lodo, já que as fendas conduzem a água para o fundo do leito. Esta parte superior toma a forma de torrões, seco, apresentando baixíssimo peso em relação ao volume e relativa resistência ao quebramento (ILHENFELD, PEGORINI e ANDREOLI, 1999).

A influência das chuvas no lodo seco poderá ser menor, visto que o mesmo possui uma capacidade muito reduzida de absorver água novamente após a secagem. Com a precipitação de chuva, parte da água escorre e percola o meio filtrante, sem entrar em contato com o lodo (AISSE et. al., 1999).



Figura 5.5 – Vista das fissuras na camada superficial da massa de lodo seco no leito de secagem da ETE Mangueira (A) e perfil do lodo seco no leito de secagem da ETE Mangueira (B).

Nas ETEs com digestor anaeróbio, o lodo digerido é somente adensado antes de ser encaminhada para uma das alternativas de desidratação (FERNANDES, 1999).

Para os lodos provenientes de reatores UASB tratando esgotos domésticos, a tecnologia mais empregada para a desidratação tem sido a dos leitos de secagem. Isto se deve aos pequenos volumes de lodo que são descartados do sistema, em função da baixa produtividade e da elevada concentração do lodo nos reatores (CHERNICHARO, 1997).

A extração periódica do lodo que cresce em excesso no reator pelo sistema de descarte possibilita a retirada de material inerte que eventualmente venha a se acumular na parte inferior do reator. Devem ser previstos pelo menos dois pontos de descarte de lodo, um na parte inferior do reator e outro à aproximadamente 1,0 a 1,5m acima (dependendo da altura do compartimento de digestão), de forma a favorecer maior flexibilidade operacional (CHERNICHARO, 1997).

Segundo CHERNICHARO (1997), YOUNG (1991) recomenda que os sólidos não devem ser descartados do reator até que a concentração na zona de lodo exceda a 5% em peso. Mesmo nestas condições, o descarte só deve ser efetuado se a concentração de sólidos no efluente aumentar significativamente. Caso não ocorra a distinção entre a manta de lodo e o leito de (distribuição uniforme), o descarte de sólidos deve ser feito sempre que a concentração aproximar-se de 7% em peso, situação em que o fluxo de massa de sólidos ficará dificultado, podendo favorecer a formação de caminhos preferenciais para o esgoto, além de dificultar a remoção do lodo de excedente.

No presente capítulo discute-se as alterações das características dos lodos no ciclo de inverno e no ciclo de verão, e o estudo da desidratação do lodo anaeróbio para viabilizar a sua estocagem e manuseio, obtido do digestor da ETE Peixinhos e em oito células de reator tipo UASB da ETE Mangueira.

5.2. METODOLOGIA

5.2.1. LEITOS DE SECAGEM

No presente estudo foi efetuado um programa de monitoramento nos meses de agosto e outubro de 2000 com lodo anaeróbio contido em oito leitos de secagem descobertos, localizados no bairro da Mangueira, na cidade do Recife (PE). Cada leito recebeu a descarga de $8,6 \text{ m}^3$ do lodo anaeróbio fluido de uma das oito células, as quais possuem um volume de aproximadamente 105 m^3 de um volume total de 810 m^3 do reator UASB. A descarga de lodo das células foi efetuada a $0,5\text{m}$ de altura da parte inferior do reator UASB e realizou-se sobre uma placa de concreto armado, para não se danificar o meio filtrante. A lâmina de lodo formada possuía aproximadamente $33,5 \text{ cm}$.

Os leitos são tanques rasos com dimensões de $4,5 \text{ m}$ de largura x $5,6 \text{ m}$ de comprimento em planta, com paredes de alvenaria, com fundo de concreto simples e dreno longitudinal de manilhas cerâmicas com diâmetro de 150mm , com juntas abertas que se comunicam com caixas de passagem. Estas interligadas por meio de coletores laterais de PVC rígido com diâmetro de 200 mm . Esses coletores conduzem o efluente dos leitos de secagem para o poço de sucção da estação elevatória da ETE.

Os leitos são compostos por uma base filtrante (10 cm de areia grossa, 15 cm de britas nº 1 e 2, 20 cm de britas nº 3 e 4 e 20 cm de brita nº 4) organizada em camadas de granulometria gradualmente maior em direção a parte inferior. Acima da camada de areia situa-se um lastro de tijolos recozidos com juntas de $2,5 \text{ cm}$ preenchidas com areia de $0,3$ a $1,2 \text{ mm}$

No projeto da estação de tratamento foi previsto o uso de um ciclo de secagem de 20 dias para desidratação do lodo com concentração média de sólidos suspensos totais de 20 kg SST/m^3 de lodo, tendo como descarga máxima 25% do volume de lodo das células do reator

UASB. O lodo resultante do processo de secagem poderia ser comercializado, doado ou ainda utilizados na adubação de parques pela prefeitura do Recife.

No mês de agosto de 2000 realizou-se o primeiro experimento na ETE Mangueira com os lodos das oito células do reator UASB (Figura 5.6) avaliando a desidratação do lodo por um período de 25 dias nos leitos de secagem.



Figura 5.6 – Vista das tubulações de descarte de lodo de excesso do reator UASB nos leitos de secagem da ETE Mangueira (A), Vista da altura de lodo descartado no leito de secagem (B) e Vista superior dos leitos de secagem de N^o 1, 3, 5 e 7 após a descarga (C).

O ciclo de secagem foi paralisado aos 25 dias em função da remoção do lodo por moradores próximos da estação (Figura 5.7).



Figura 5.7 - Remoção do lodo dos leitos de secagem por moradores próximos da estação.

O segundo experimento foi realizado nesta ETE no mês de outubro de 2000 somente com o lodo da célula n^o 8 (Figura 5.8) por um período de 23 dias no leito de secagem. O ciclo de secagem também foi paralisado por causa da remoção do lodo pelos moradores próximos da estação.



Figura 5.8 – Vista superior do leito de secagem n°8 da ETE Mangueira após a descarga (A), Vista superior do leito de secagem após dois dias de desidratação (B) e Vista superior do leito de secagem após sete dias de desidratação (C).

5.2.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISES

O monitoramento das características físico-químicas dos lodos da ETE Mangueira foi realizado na estação chuvosa (07 de agosto a 01 de setembro de 2000) e no período de verão (03 a 26 de outubro de 2000). Estes foram submetidos à desidratação em leito de secagem a céu aberto sem revolvimento do lodo. Antes de se iniciar a secagem nos leitos, coletou-se uma amostra para caracterização de lodo anaeróbio fluido.

No mês de agosto, foi feita amostragem diária para o lodo do leito de secagem n° 2 e semanais para os sete restante. No mês de outubro, a amostragem foi diária no leito de secagem n° 8.

A análise do líquido percolado dos leitos de secagem não foi possível por causa da altura da tubulação de drenagem que ficava rente ao chão da caixa de passagem (Figura 5.9).



Figura 5.9 – Caixa de passagem do líquido percolado do leito de secagem

Para efeito de comparação com as amostras da ETE Mangueira, também foi coletada amostra de lodo no leito de secagem na ETE Peixinhos. A ETE Peixinhos localizada na cidade de Olinda, foi projetada para recebe parcialmente os efluentes dos bairros de Casa Forte, Parnamirim, Casa Amarela, Arruda, Encruzilhada, Hipódromo, Espinheiro, Campo Grande, Torreão, Água Fria, Beberibe, Antigo Matadouro, parte da Cidade de Olinda e também recebe os efluentes dos conjuntos habitacionais da INOCOOP Cajueiro, Jardim Brasil, centro de Convenções, Varadouro I e II. Atende a população de aproximadamente 314.500 habitantes. Com capacidade para tratar 36.000 m³/dia e reduzir a carga orgânica inicial em torno de 80%, a vazão máxima de esgoto que chega a estação é aproximadamente 18.000 m³/dia e vazão mínima em 12.000 m³/dia. O sistema de tratamento atual é composto por uma calha Parshall, duas grades de barras e duas caixas de areia com limpeza automática, dois decantadores primários e dois filtros biológicos, dois decantadores secundários, dois digestores e vários leitos de secagem.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (Departamento de Engenharia Civil) e no Laboratório ICP-AES (Departamento de Geologia), ambos pertencentes a UFPE. Os procedimentos analíticos foram baseados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995) e KIEHL (1985).

Os parâmetros monitorados na caracterização físico-química das amostras de lodos fluidos (semi-sólidos) foram: pH, condutividade elétrica, umidade a 65 e 105°C, sólidos totais a 105°C, sólidos totais fixos e voláteis a 550°C, sulfato, fósforo total, nitrogênio total Kjeldahl, potássio, sódio, ferro, cálcio, magnésio, silício, alumínio, manganês, cobre, zinco, níquel, chumbo e cromo.

Os parâmetros estudados do lodo desidratado nos leitos foram idênticos ao lodo fluido, exceto a determinação de pH e condutividade elétrica que foram realizadas em água (H₂O).

5.2.3. DADOS HIDROLÓGICOS

As medidas de precipitação pluviométrica foram obtidas no “site” do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As precipitações pluviométricas acumuladas nos meses de agosto de 2000 e outubro de 2000 em Recife foram de aproximadamente 445 mm e 45 mm, e as temperaturas máximas foram em torno de 28,4 °C e 29,8 °C, respectivamente.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas 5.1 a 5.4 estão apresentados os resultados das características físico-químicas das amostras de lodo antes (lodo bruto) e após a desidratação nos leitos de secagem.

Tabela 5.1 – Concentrações iniciais e finais dos parâmetros físicos dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira e da ETE Peixinhos na desidratação do lodo em leito de secagem.

Amostras			Parâmetros						
			pH	CE $\sigma S/cm$	U65 $\forall C$	U105 $\forall C$	ST	STF	STV
					% de MU			% dos ST	
ETE Peixinhos	Leito de secagem (jun/2000)	90 dias	6,6	227	14,8	19,0	81,0	57,4	42,6
ETE Mangueira	Leito de secagem 1	0 dia	6,9	1190	94,7	94,8	5,2	62,8	37,2
		25 dias	5,4	1990	64,4	65,0	35,0	66,6	33,4
	Leito de secagem 2	0 dia	7,0	946	90,8	93,2	6,8	63,7	36,3
		25 dias	5,7	2320	60,9	61,4	38,6	66,5	33,5
	Leito de secagem 3	0 dia	7,0	1164	93,0	93,3	6,7	65,1	34,9
		25 dias	6,2	1496	62,2	62,8	37,2	69,5	30,5
	Leito de secagem 4	0 dia	7,0	918	93,6	93,7	6,3	66,7	33,3
		25 dias	5,9	1594	54,4	54,9	45,1	67,8	32,2
	Leito de secagem 5	0 dia	7,2	864	99,8	99,8	0,2	58,2	41,8
		25 dias	6,9	1427	38,6	39,2	60,8	68,9	31,1
	Leito de secagem 6	0 dia	6,9	980	94,0	94,1	5,9	68,9	31,1
		25 dias	5,9	1306	59,3	59,6	40,4	70,1	29,9
	Leito de secagem 7	0 dia	6,9	944	94,2	94,3	5,7	67,0	33,0
		25 dias	6,2	1297	56,7	57,6	42,4	75,4	24,6
	Leito de secagem 8 (ago/2000)	0 dia	6,8	966	94,7	94,8	5,2	66,7	33,3
		25 dias	5,8	1943	58,1	59,1	40,9	75,7	24,3
Leito de secagem 8 (out/2000)	0 dia	7,3	1254	89,7	89,8	10,2	67,2	32,8	
	23 dias	-	-	39,2	40,5	59,5	70,4	29,6	

Nota: O dia “0” (zero) refere-se ao lodo anaeróbio bruto no dia da descarga no leito de secagem e os dias 90; 25 e 23 referem-se aos lodos anaeróbios secos no último dia do período de desidratação no leito.

MU = massa úmida

Os resultados da Tabela 5.1 mostram um decréscimo na concentração das análises de pH, sólidos totais voláteis, umidade a 65 $\forall C$ e 105 $\forall C$, que estavam maior no dia zero do que após o período de secagem tanto no primeiro experimento (07/08/00 a 01/09/00) nas oito

células como no segundo (03 a 26/10/00) com a célula 8. Estes resultados podem estar relacionados com fatores ambientais referentes à exposição do lodo em leito de secagem e a perda de água da massa de lodo. Observou-se também que houve um aumento na condutividade elétrica e nos sólidos totais fixos provavelmente devido a perda de água da massa de lodo.

Na Tabela 5.1, observa-se ainda que nos lodos das células n^{os} 1 a 8 do reator UASB da ETE Mangueira os teores de sólidos totais eram de 0,2% a 6,8% (de MU) e houve um aumento de aproximadamente sete vezes ao último dia de desidratação nos leitos de secagens. Segundo VAN HAANDEL e MARAIS (1999) a separação de sólidos e líquidos tende a aumentar a concentração de lodo seco. O menor teor de ST na célula n^o 5 deve-se ao fato da operação ter iniciado há poucos dias da coleta, tendo em vista a paralisação da célula por alguns meses decorrente de ato de vandalismo de moradores próximo à estação. Comparou-se o teor de ST do lodo da célula 8 do período de outubro/00 (estação seca) com período de agosto/00 (período chuvoso) os valores praticamente dobraram. Levando em conta o aumento da condutividade elétrica de 966σS/cm (agosto) para 1254σS/cm (outubro) estes valores e dos sólidos podem estar relacionados em parte, a utilização d'água de poço devido a escassez de água no período de verão.

Verifica-se também na Tabela 5.1 que os teores de sólidos totais voláteis variaram de 31,1% a 41,8% (dos ST) nos lodos das células n^{os} 1 a 8, evidenciando uma diferença em torno de 10% no reator no mês agosto de 2000. Foi constatado, também, que o teor de STV do lodo da célula 8 era praticamente o mesmo valor nos períodos estudados.

Os resultados obtidos da ETE Mangueira foram comparados com da ETE Peixinhos e observou-se que o lodo seco da ETE Peixinhos possuía uma menor condutividade, umidade e sólidos fixos, em contraste possuía um maior teor de sólidos totais e sólidos voláteis. O teor de umidade (água) do lodo indica que a sua característica física era de lodo granulado (40% – 15%). Os valores da ETE Peixinhos devem-se provavelmente ao tempo de secagem ser cerca de 4 vezes maior do que o da ETE Mangueira, segundo SILVA, RESK e SHARMA (2000) uma secagem a teor de até 30% de água pode mudar o perfil do produto, melhorando suas propriedades físicas e facilitando seu manuseio. Uma possível influência nas características do lodo pode também estar ligada aos esgotos dos bairros que contribuem a ETE Peixinhos serem em sua grande parte de classe média a alta (Casa Forte, Parnamirim, Espinheiro entre outros).

A Figura 5.10 apresenta a variação do teor de sólidos do lodo da ETE Mangueira em leito de secagem no mês de agosto de 2000.

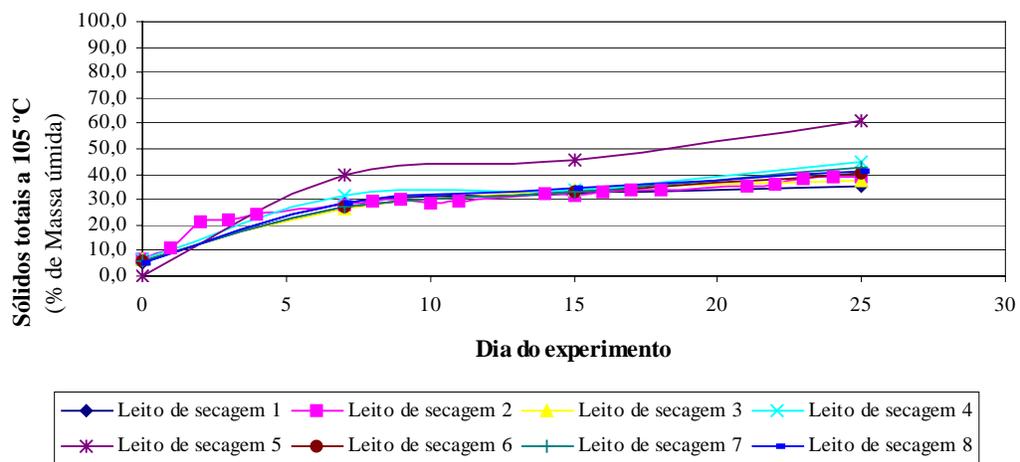


Figura 5.10 - Variação do teor de sólidos totais a 105⁰ C nos oito leitos de secagem da ETE Mangueira no período de 07/08/00 a 01/09/00.

De acordo com a Figura 5.10 verifica-se que no mês de agosto/00 obteve-se lodo no leito de secagem n^o 2 com teores de sólidos totais de 21,2% (de MU) aos 2 dias de experimento, e aos 9 dias obteve-se teores de ST de 30,5% (de MU). Nos leitos de secagem n^{os} 1, 3 a 8 foram observados aos 7 dias, que os lodos apresentavam teores de ST de 26,6% a 39,8% (de MU), e aos 15 dias obtiveram-se teores de ST de 32,1% a 45,2% (de MU), respectivamente. Os lodos nos leitos n^o 1 a 8 aos 25 dias de experimento apresentavam teores de sólidos de 35,0% a 60,8% (de MU). Comprovou-se que a fração da matéria orgânica é de importância primária na desidratação do lodo em leito de secagem (TCHOBANOGLIOUS, 1991 citado por YÜKSELEN, 1998), pois no lodo da célula 5 possuía uma concentração (inicial) dos sólidos menor do que as demais células e no leito de secagem n^o 5 obteve-se um maior teor de sólidos totais para o mesmo período de secagem.

Em relação ao tempo de secagem (evaporação e percolação) do lodo da ETE Mangueira em agosto/00 (período com alta precipitação) pode-se afirmar que foi inferior ao citado na literatura por vários autores (VAN HAANDEL e LETTINGA 1994; AISSE e ANDREOLI, 1999; FERNANDES, 1999; FERREIRA et. al., 1999), influenciado provavelmente pela característica do lodo (alto teor de STF) e pelos fatores ambientais

(temperatura, umidade e vento no período de avaliação). ALÉM SOBRINHO e MIRANDA citado por MENDONÇA e CAMPOS (1999) obtiveram ST de 20% após 16 dias de secagem e para o lodo adensado com 3,6% de teor de sólidos, foram necessários 30 dias para obter-se ST de 30%. Segundo AISSE e ANDREOLI (1999), para as companhias de saneamento interessam obter valores de torta de lodo superiores a 20% como sólidos totais (ST).

Observou-se um pequeno aumento no teor de umidade do lodo no leito de secagem nº 2 aos 3, 10, 17, 18 e 25 dias de desidratação com a ocorrência das chuvas, isto provavelmente ocorreu devido as numerosas fissuras no lodo seco, as quais permitiram que a água escoasse sob a superfície da torta e atravessa-se o meio filtrante, sem que houve um grande contato com a massa de lodo no leito de secagem. CORDEIRO (1999) e AISSE et. al. (1999) mencionam a respeito das fendas contribuírem para que o lodo não absorva muita umidade durante o período chuvoso.

A Figura 5.11 ilustra a variação do teor de sólidos fixos do lodo da ETE Mangueira em leito de secagem aos 25 dias de desidratação.

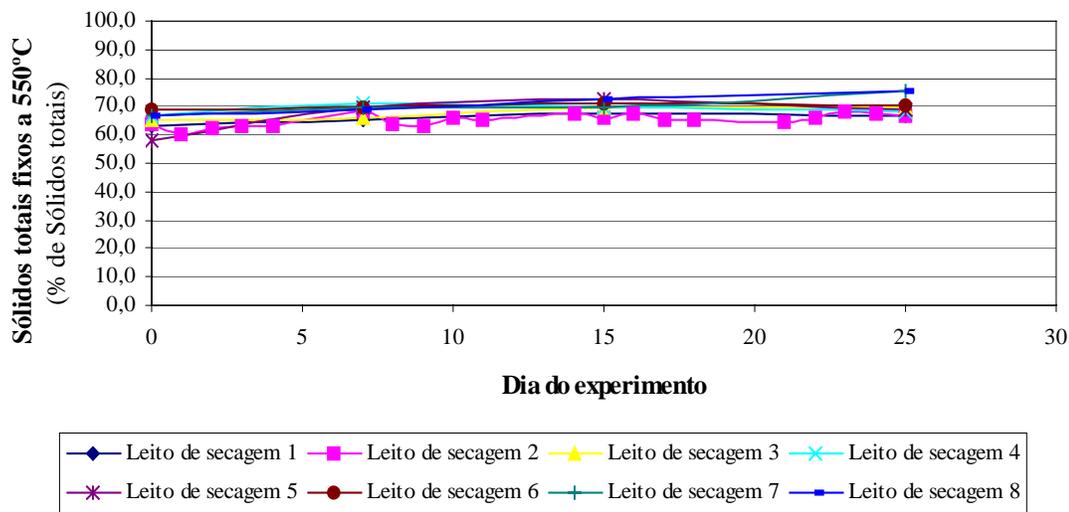


Figura 5.11 – Variação do teor de sólidos totais fixos a 550⁰ C nos oito leitos de secagem da ETE Mangueira no mês de agosto de 2000.

A análise da Figura 5.11 revela que os teores de sólidos totais fixos nos lodos da ETE Mangueira eram praticamente o mesmo em todas as células e estavam na faixa de 58,2% - 75,7% durante o tempo de secagem (agosto/00). Esta grande quantidade de material inerte

(mais de 50%) demonstra que a estabilidade do lodo digerido da ETE Mangueira era elevada e pode ter contribuído para a rápida perda da umidade nos leitos de secagem. A norma técnica só permite a utilização agrícola de lotes de lodo em que o teor de sólidos fixos (cinzas) seja superior a 30% em relação ao peso seco do lodo, pois pode ser que mesmo com 30% haja problema de odor (FERREIRA *et al.*, 1999a).

Na Figura 5.12 apresenta-se a variação do teor de umidade do lodo da célula 8 da ETE Mangueira em leito de secagem nos meses de agosto e outubro de 2000.

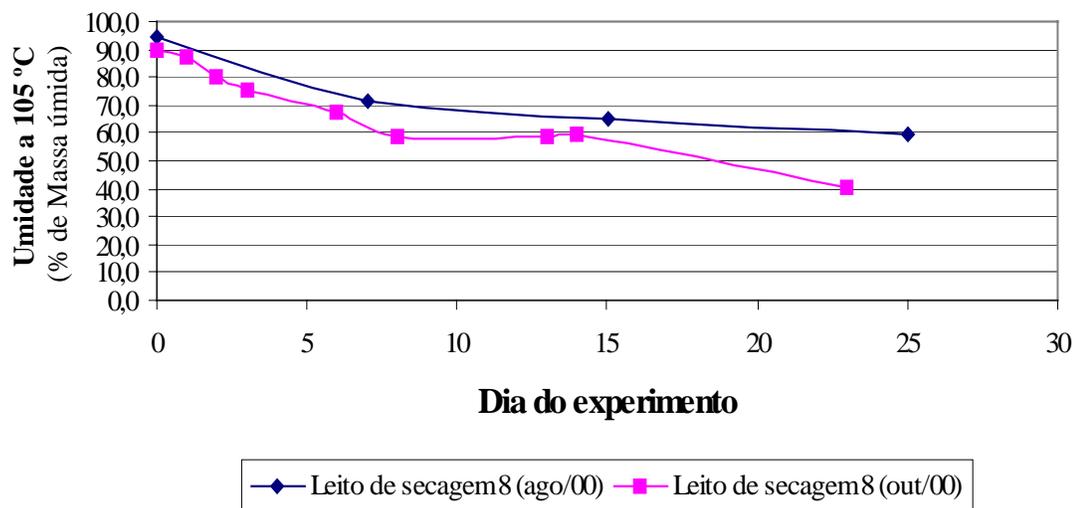


Figura 5.12 – Comparação entre o teor de umidade a 105⁰ C no leito de secagem 8 da ETE Mangueira nos períodos de 07/08/00 a 01/09/00 e de 03 a 26/10/00.

Na figura 5.12 observa-se o decréscimo do teor de umidade do lodo da célula 8 da ETE Mangueira em leito de secagem no período de inverno (agosto/00) e no período de verão (outubro/00), ao comparar estes dois períodos, vê-se que embora o teor de sólidos totais no verão seja o dobro do inverno, obteve-se um menor teor de umidade para o mesmo número de dias, mostrando que os fatores climáticos também influem decisivamente na desidratação do lodo. Ratificando a informação TCHOBANOGLOUS (1991) citado por YÜKSELEN (1998) que os fatores ambientais como precipitação, umidade, velocidade do vento, temperatura do ar e radiação são de importância secundária nas características dos lodos para a liberação (perda) da água livre por secagem

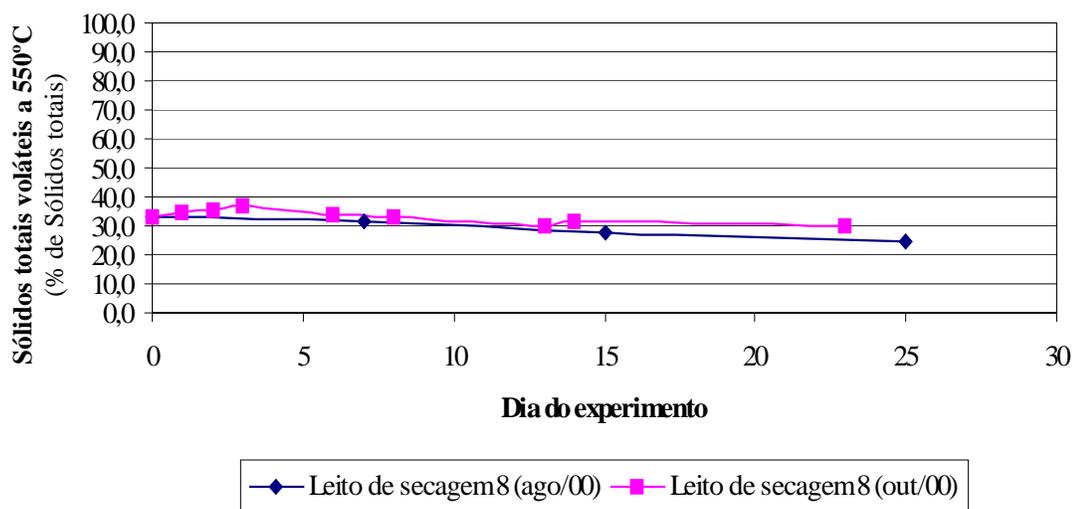


Figura 5.13 - Comparação entre o teor de Sólidos totais voláteis a 550^o C no leito de secagem 8 da ETE Mangureira nos meses de agosto e outubro de 2000.

Na Figura 5.13 observa-se que durante o período de secagem ocorreu praticamente o mesmo decréscimo no teor de STV do lodo no leito de secagem n^o8 nos meses de agosto e outubro, comprovando que com o aumento dos dias de secagem perde-se matéria orgânica devido reação de decomposição que ocorre na massa de lodo. Na remoção da umidade do lodo tende a diminuir da massa de material orgânico em 30 a 50% (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

Na Tabela 5.2, apresentam-se os resultados das análises dos nutrientes dos lodos nos anaeróbios.

Tabela 5.2 - Concentrações iniciais e finais de nutrientes dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira e da ETE Peixinhos na desidratação do lodo em leitos de secagem.

Amostras			Parâmetros			
			S	P	N	K
			(g/kg de lodo seco)			
ETE Peixinhos	Leito de secagem (jun/2000)	90 dias	7,3	0,79	20,7	0,56
ETE Mangueira	Leito de secagem 1	0 dia	10,3	0,46	18,6	-
		25 dias	29,7	0,95	16,6	0,70
	Leito de secagem 2	0 dia	10,9	0,48	22,2	2,06
		25 dias	46,1	1,64	19,4	1,92
	Leito de secagem 3	0 dia	11,6	0,47	19,4	2,09
		25 dias	40,0	1,34	18,9	1,86
	Leito de secagem 4	0 dia	11,0	0,46	18,9	-
		25 dias	65,9	2,24	17,2	1,86
	Leito de secagem 5	0 dia	23,3	0,48	25,2	-
		25 dias	53,4	2,27	15,6	2,14
	Leito de secagem 6	0 dia	6,2	0,47	18,1	-
		25 dias	53,0	2,36	17,7	1,67
	Leito de secagem 7	0 dia	-	0,41	18,1	-
		25 dias	49,5	0,88	14,6	1,96
	Leito de secagem 8 (ago/2000)	0 dia	-	0,37	19,9	-
		25 dias	21,0	1,99	18,5	1,48
Leito de secagem 8 (out/2000)	0 dia	-	-	-	2,73	
	23 dias	7,7	0,44	17,6	2,00	

A Tabela 5.2 mostra o decréscimo nas concentrações de nitrogênio total e potássio dos lodos da ETE Mangueira durante os dois períodos de secagem (agosto/00 e outubro/00). Estes resultados também podem estar relacionados com fatores ambientais referentes à exposição do lodo em leito de secagem e a perda de água da massa de lodo. Na literatura a perda de nitrogênio podem estar associada a exposição a temperatura alta proporcionar uma volatilização significativa do N, onde as perdas ocorridas deve-se à permanência do lodo nos leitos de secagem. Os teores (g/kg de MS) de potássio (0,70 a 2,14) e fósforo total (0,44 a 2,36) nos lodos da ETE Mangueira indicam que estão em desacordo com a literatura (LIMA, 1996). Observou-se também que houve um aumento no sulfato e fósforo total, provavelmente por que estes elementos estão na fase sólida e a desidratação (perda de água da massa de lodo) aumentará a concentração destes.

A respeito dos macronutrientes (N, P, K e S) da ETE peixinhos estudos complementares fazem-se necessário, levando-se em conta o período de secagem e a características do lodo fluido.

Na Tabela 5.3 apresentam-se os resultados das análises de sódio, ferro, cálcio, magnésio, silício, alumínio e manganês dos lodos no primeiro e no segundo experimento.

Tabela 5.3 - Concentrações iniciais e finais de metais dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira na desidratação do lodo em leitos de secagem.

Amostras			Parâmetros						
			Na	Fe	Ca	Mg	Si	Al	Mn
			(g/kg de lodo seco)						
ETE Peixinhos	Leito de secagem (jun/2000)	90 dias	0,57	26,7	12,4	1,33	0,10	40,9	0,11
ETE Mangueira	Leito de secagem 1	0 dia	-	34,2	29,5	2,59	0,15	53,5	0,23
		25 dias	0,67	30,0	22,2	1,40	0,06	38,1	0,14
	Leito de secagem 2	0 dia	1,30	34,5	24,7	2,40	0,13	47,2	0,21
		25 dias	0,73	32,1	22,3	1,82	0,08	47,8	0,17
	Leito de secagem 3	0 dia	1,52	31,4	27,7	2,68	0,09	33,7	0,15
		25 dias	0,72	30,6	24,6	1,66	0,08	49,7	0,19
	Leito de secagem 4	0 dia	-	31,4	27,7	2,68	0,18	51,0	0,26
		25 dias	0,89	29,9	27,5	2,08	0,09	51,4	0,20
	Leito de secagem 5	0 dia	-	-	-	-	-	37,2	0,27
		25 dias	1,10	29,3	33,0	1,90	0,07	52,9	0,20
	Leito de secagem 6	0 dia	-	32,2	27,5	2,78	0,17	54,1	0,26
		25 dias	1,64	30,4	30,4	2,16	0,10	60,5	0,21
	Leito de secagem 7	0 dia	-	31,3	28,3	2,56	0,14	53,6	0,23
		25 dias	1,64	24,5	20,2	4,88	0,11	57,8	0,20
	Leito de secagem 8 (ago/2000)	0 dia	-	34,2	28,1	2,94	0,36	56,3	0,31
		25 dias	1,05	17,9	16,2	2,87	0,09	32,1	0,13
	Leito de secagem 8 (out/2000)	0 dia	4,26	26,8	25,4	2,49	0,11	51,5	0,23
		23 dias	0,71	17,5	12,5	1,45	0,06	30,6	0,15

Os resultados das análises de sódio, ferro, cálcio, magnésio, silício e manganês (Tabela 5.3) da ETE Mangueira indicam um decréscimo nas concentrações destes elementos na desidratação do lodo em ambos experimento. Estes resultados podem estar relacionados provavelmente com a lixiviação destes elementos durante o período de secagem, ocorrendo uma diminuição das suas concentrações na massa de lodo. Por sua vez, houve um aumento de cálcio no lodo do leito de secagem n^o 6, magnésio no lodo do leito de secagem n^o 7 e

manganês no lodo do leito de secagem não diferindo dos demais resultados. Os lodos após secagem apresentavam essencialmente os mesmos resultados dos teores de ferro manganês, em concordância com os resultados apresentados por YÜKSELEN (1998), em contrapartida diferindo nos valores dos teores (g/kg) de lodo seco que foram bem maiores do que o encontrado pelo pesquisador.

As diferenças de concentrações nos teores de alumínio nos lodos durante o período de secagem podem estar relacionados com o seu acúmulo dentro da célula. Deve-se levar em consideração que cal (CaO) e sais de alumínio ou ferro são adicionados para estabilização e desidratação do lodo, dependendo da quantidade de produtos químicos utilizados resultam em lodos com características bem distintas e podem influir significativamente na qualidade dos lodos em seu destino final, particularmente quando se pensa em uso na agricultura (ALEM SOBRINHO, 2000).

As concentrações dos metais (sódio, ferro, magnésio, silício, alumínio e manganês) no lodo da ETE peixinhos mostram uma concordância com os teores encontrados na ETE Mangueira. No entanto, o teor de cálcio da ETE Peixinhos foi 2 (duas) vezes menor do que o encontrado na ETE Mangueira.

Na Tabela 5.4, apresentam-se os resultados das análises de cobre, zinco e cromo dos lodos no primeiro e no segundo experimento .

Tabela 5.4 – Concentrações iniciais e finais de metais pesados dos lodos anaeróbios das oito células da ETE Mangueira na desidratação do lodo em leitos de secagem.

Amostras			Parâmetros				
			Cu	Zn	Cr	Ni	Pb
			(mg/kg de lodo seco)				
ETE Peixinhos	Leito de secagem (jun/2000)	90 dias	217,7	962,1	68,3	177,7	93,3
ETE Mangueira	Leito de secagem 1	0 dia	77,2	491,4	59,8	-	-
		25 dias	51,7	411,7	35,5	42,6	N.D.
	Leito de secagem 2	0 dia	74,8	504,4	55,8	68,2	-
		25 dias	67,4	508,4	46,0	N.D.	N.D.
	Leito de secagem 3	0 dia	44,6	273,4	42,4	-	-
		25 dias	67,4	430,5	43,2	N.D.	N.D.
	Leito de secagem 4	0 dia	78,1	488,5	61,0	-	-
		25 dias	70,3	446,9	49,4	60,6	N.D.
	Leito de secagem 5	0 dia	-	-	-	-	-
		25 dias	64,6	427,5	42,3	51,6	N.D.
	Leito de secagem 6	0 dia	83,4	487,9	66,3	-	-
		25 dias	68,8	439,2	48,6	58,5	N.D.
	Leito de secagem 7	0 dia	76,8	468,5	55,7	-	-
		25 dias	55,3	306,7	44,4	N.D.	N.D.
	Leito de secagem 8 (ago/2000)	0 dia	86,9	500,1	83,3	-	-
		25 dias	38,9	222,7	37,0	N.D.	N.D.
Leito de secagem 8 (out/2000)	0 dia	68,9	400,2	48,4	-	-	
	23 dias	49,9	269,5	34,7	4,24	4,54	

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

A concentração dos metais níquel e chumbo apresentaram valores abaixo do limite de detecção pelo método analítico após a secagem dos lodos da ETE Mangueira (Tabela 5.4). Para as análises de cobre, zinco e cromo dos lodos, os resultados apontam que foram essencialmente os mesmos do início ao término da secagem. Outrossim, houve um aumento de cobre no lodo do leito de secagem n^o3, zinco no lodo dos leitos de secagem n^o2 e 3, e cromo no lodo do leito de secagem n^o3 diferindo dos demais resultados.

Os teores de cobre, cromo e zinco no lodo pesquisado por YÜKSELEN (1998) foram essencialmente os mesmos antes e após secagem, divergindo dos resultados encontrando na ETE mangueira. Por sua vez, nenhum dos resultados do teor de metais pesado esteve acima dos valores descritos nas normas nacionais.

Os resultados das análises dos metais pesados do lodo seco da ETE peixinhos mostram que foram maiores do que da ETE Mangueira, evidenciando a influência dos esgotos dos bairros não essencialmente residenciais (comerciais e/ou industriais).

Comparou-se os teores (mg.kg^{-1} de MS) de cobre (50,5), cromo (1.750), zinco (353,5), níquel (200) e chumbo (50,5) previstos como permissíveis para a aplicação agrícola na África do Sul e observou-se que a amostra da ETE Peixinhos apresentava os teores cobre, zinco e chumbo acima do indicado. Das amostras de lodos da ETE Mangueira, 77,8% estavam acima do permitido nos teores de cobre e zinco.

5.4. CONCLUSÕES

1. Diferenças significativas foram observadas nos teores de sólidos totais, umidade, condutividade elétrica, nitrogênio, fósforo, potássio e sulfato no momento da descarga a secagem no leito do lodo da ETE Mangueira. O teor de nitrogênio diminuiu no lodo seco por ocorrer perdas durante o processo de desidratação.
2. Evidenciou-se que em uma semana de desidratação o lodo da ETE Mangueira atingiu teor superior a 20% de sólidos totais em ambos os períodos (seco e chuvoso) podendo ser removido para tratamento (compostagem e vermicompostagem se a disposição final do lodo for à reciclagem agrícola). Os elevados teores de sólidos totais fixos, alumínio, ferro e cálcio no lodo podem ter influenciado positivamente no processo de secagem.
3. Os menores níveis de concentração de níquel e chumbo foram determinados nos lodos da ETE Mangueira após secagem em quase todo período estudado permanecendo abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado excetuando-se o leito 8 do experimento 2.
4. No geral não determinou-se diferenças significativas para a concentração de ferro e cálcio antes e após desidratação do lodo da ETE Mangueira.
5. Estudos complementares fazem-se necessário a respeito das características do lodo fluido e seco da ETE peixinhos.

6.0. DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA DO LODO DE REATOR UASB

6.1. INTRODUÇÃO

Segundo FORESTI *et. al.* (1999) a tecnologia anaeróbia tem se desenvolvido a partir dos conhecimentos acumulados nos aspectos microbiológicos, bioquímicos, termodinâmicos e cinéticos dos processos anaeróbios. A aplicação da biotecnologia anaeróbia no tratamento de esgotos ocorreu há pouco mais de cem anos.

No sistema anaeróbio, as bactérias facultativas e anaeróbias, convertem a matéria orgânica em biomassa e produtos gasosos – dióxido de carbono, metano, nitrogênio e traços de gás sulfídrico. Nesse processo, a taxa de crescimento das diversas bactérias envolvidas é diferenciada. As bactérias anaeróbias possuem baixas taxas de crescimento (σ_{max} pequeno) e alta atividade metanogênica específica (AME). Estas bactérias são muito sensíveis às condições ambientais; temperatura, pH e anaerobiose (HAMMER, 1979).

As bactérias metanogênicas formam um grupo especial composto de várias espécies com diferentes formas celulares. O crescimento e produção dessas bactérias são favorecidos em um ambiente com pH variando entre 6,8 e 7,2, podendo, contudo variar entre as espécies. A temperatura varia na faixa entre 15 e 40°C para bactérias mesofílicas e entre 55 e 65°C para as espécies termofílicas. O crescimento ocorre, em geral, em presença de amônia, sulfetos ou cisteína como fontes de nitrogênio e enxofre, respectivamente (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A digestão anaeróbia pode ser sensivelmente perturbada pela presença de sais metálicos originados principalmente em oficinas de galvanização e inibida pela acumulação das substâncias tóxicas como metais pesados oriundas de despejos industriais. Este efeito pode ser minimizado quando no reator há quantidades suficientes de enxofre para precipitar os metais tóxicos, excetuando-se o cromo, sob a forma de sulfetos insolúveis. Efeitos benéficos também pode ser produzidos na digestão anaeróbia ao adicionarmos compostos com função de antagonistas, visto que, se algum cátion apresentar-se em concentração inibidora no esgoto afluente, esta poderá ser reduzida se estiver presente ou for adicionado íons antagonísticos tais como sódio e potássio (Tabela 6.1). A adição de elementos antagonistas

é usualmente feita através de sais de cloreto (IMHOFF e IMHOFF, 1986; CHERNICHARO, 1997).

Tabela 6.1 – Concentrações estimulantes e inibidoras de alguns cátions

Cátion	Concentração (mg/L)		
	Estimuladora	Moderadamente inibidora	Fortemente inibidora
Cálcio	100 - 200	2500 - 4500	8000
Magnésio	75 - 150	1000 - 1500	3000
Potássio	200 - 400	2500 - 4500	12000
Sódio	100 - 200	3500 - 5500	8000

Fonte: McCARTY (1964) citado por CHERNICHARO, 1997

Segundo CHERNICHARO (1997) nos processos biológicos de tratamento de esgotos as necessidades nutricionais das populações microbiológicas envolvidas são usualmente estabelecidas a partir da composição química empírica das células microbianas. Na Tabela 6.2 é apresentada a composição química das bactérias metanogênicas.

Tabela 6.2 – Composição química das bactérias metanogênicas

Macronutrientes		Micronutrientes	
elemento	Concentração (g/kg SST)	elemento	Concentração (mg/kg SST)
Nitrogênio	65	Ferro	1.800
Fósforo	15	Níquel	100
Potássio	10	Cobalto	75
enxofre	10	Molibdênio	60
Cálcio	4	Zinco	60
Magnésio	3	Manganês	20
		Cobre	10

Fonte: LETTINGA *et al.* (1996) citado por CHERNICHARO, 1997.

A determinação da atividade metanogênica específica da biomassa presente no reator é uma das rotinas operacionais mais importante no sistema de tratamento anaeróbio. O teste de AME avalia a capacidade transformadora das bactérias anaeróbias em converter o substrato orgânico em biogás sob condições otimizadas. As taxas de produção máxima de metano (mL CH₄/g SVT.d ou mg DQO_{CH₄}/mg SVT.d) é avaliada a partir de quantidades conhecidas de biomassa (g SVT) e de substrato (g DQO), e sob condições estabelecidas ao longo do período

de teste. A importância de se avaliar a AME de lodos anaeróbios é no sentido de classificar o potencial da biomassa na conversão de substratos orgânicos solúveis em metano e gás carbono (CHERNICHARO, 1997).

Este teste pode ser efetuado para uma série de outras aplicações, tais como (CHERNICHARO, 1997):

- i) avaliar o comportamento de biomassa sob o efeito de compostos potencialmente inibidores;
- ii) determinar a toxicidade relativa de compostos químicos presentes em efluentes líquidos e resíduos sólidos;
- iii) estabelecer o grau de degradabilidade de diversos substratos, notadamente de rejeitos industriais;
- iv) monitorar as mudanças de atividade do lodo, devido a uma possível acumulação de materiais inertes, após longos períodos de operação de reatores;
- v) determinar a carga orgânica máxima que pode ser aplicada a um determinado tipo de lodo, proporcionando uma aceleração do processo de partida de sistemas de tratamento;
- vi) avaliar parâmetros cinéticos.

A determinação da AME é feita incubando-se uma amostra de lodo à temperatura ambiente com abundante substrato metanogênico. Durante o período de incubação observa-se a taxa de produção de metano até ocorrer a sua diminuição (HASKONING, 1989 citado por VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). A determinação da concentração de metano no biogás pode ser feita absorvendo o gás carbônico presente no biogás, através de sua passagem em solução alcalina. Os volumes de biogás produzido são registrados, em cada intervalo de tempo, ao longo do período de teste (mL/h). A avaliação da AME é realizada a partir da inclinação da reta tangente à curva de produção de metano. A inclinação fornece então a taxa de produção de metano (mL CH₄/h) que, dividida pela quantidade inicial de biomassa presente no frasco de reação (g STV), leva à atividade metanogênica específica do lodo (mL CH₄/g STV.h). Usualmente faz-se a correspondência do volume de metano em massa de DQO, de forma a possibilitar que a AME seja expressa em termos de g DQO CH₄/g STV.d (CHERNICHARO, 1997)

Esse capítulo tem por objetivo avaliar os resultados dos testes de AME de lodo floculento, obtido na estação de tratamento Mangueira pertencente à COMPESA, localizada

na Região Metropolitana do Recife – PE. Com o intuito de observar a produção de metano do reator anaeróbio em escala real foram realizados testes com duas concentrações de substrato e biomassa com granulometrias diferentes.

6.2. METODOLOGIA

6.2.1. Biomassa

O trabalho experimental foi desenvolvido no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, utilizando-se uma amostra de lodo anaeróbio de esgoto doméstico proveniente da célula 2 (tubulação de tomada de lodo a 0,5 m de altura) do reator UASB em escala real, localizado no bairro da Mangueira na cidade do Recife.

Para estudar a influência da concentração do substrato (acetato de sódio como fonte de carbono) no teste de AME, foram efetuados dois experimentos. Nestes ensaios não foi utilizada agitação.

O lodo possuía concentrações de 47,2 g/kg (de MS) de alumínio, 34,5 g/kg (de MS) de ferro e 504,43 mg/kg (de MS) de zinco. Para determinação dos teores dos metais, seguiu-se o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19ª edição.

No período de 05 a 21/09/2000, foi realizado o primeiro experimento com o lodo anaeróbio floculento, sendo o mesmo peneirado para remover os sólidos mais finos (Figura 6.1). As análises das concentrações dos sólidos suspensos do lodo foram realizadas de acordo com Standard Methods, obtendo-se: 167,2 g SST/L e 73,1 g SSV/L para o lodo peneirado. Neste experimento utilizou-se 2 g de DQO/L como substrato e 0,5, 1,0 e 2 g SSV/L de biomassa.

O segundo experimento foi realizado no período de 21/09/2000 a 09/10/2000 com lodo anaeróbio, centrifugado a 4000 rpm por 15 minutos (Figura 6.1), onde utilizou-se 1 g de DQO/L com 0,57 e 0,92 g SSV/L, bem como 2 g de DQO/L com 0,57; 0,92 e 1,85 g SSV/L. As concentrações obtidas dos sólidos suspensos do lodo foram 280 g SST/L e 97,6 g SSV/L.

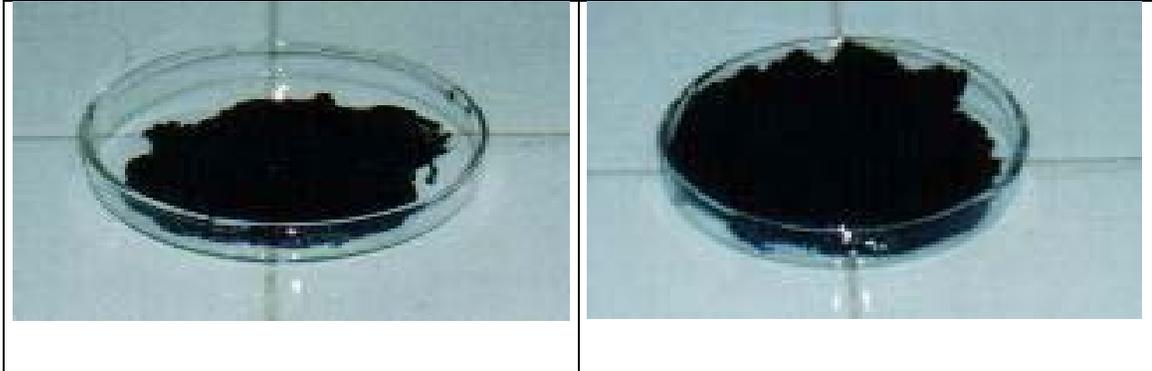


Figura 6.1 – Aspecto do lodo peneirado (à esquerda) e centrifugado (à direita) utilizado no teste de AME.

6.2.2. Reagentes

Todos os produtos químicos utilizados foram de grau P.A. e foram adquiridos da VETEC, exceto o extrato de levedura, da OXOID. As soluções foram preparadas por peso, de acordo com metodologia empregada por FLORENCIO (1994):

- i) Substrato: acetato de sódio (1 e 2 g DQO/L)
- ii) Solução nutritiva: os macronutrientes usados no experimento continha (em mg/L da solução), NH_4Cl (280), $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (330), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (100) e $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (10), NaHCO_3 (400), levedura (100). Esta solução foi feita com água deionizada e adicionado 1 mL da solução de micronutrientes, composta por (em mg/L): $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (2000), H_3BO_3 (50), ZnCl_2 (50), $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (38), $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (500), $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (50), $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (90), $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (2000), $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (160), $\text{NaSeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (164), EDTA (1000), Resazurin (200), HCl (36%) (1mL). A solução de nutrientes foi adicionada ao substrato para alimentação da biomassa presente nos reatores.
- iii) Solução de NaOH 3% massa/massa.

6.2.3. Materiais e Equipamentos

Os materiais, vidrarias e equipamentos utilizados (Figura 6.1) foram os mais variados de acordo com suas funções específicas, existentes no laboratório, tais como:

- i) reator: uma garrafa (reator) de soro de vidro de 600 mL; 3 agulhas 25x7; 2 seringas de 3 mL; 1 conexão em T; uma garrafa de vidro rosqueada > 1000 mL; um funil de plástico; uma garrafa plástica de 1000mL; 2 septas de borracha; 2 tampas de plásticas rosqueadas vazadas; 1 pinça de Hoffman; 1 mangueira de plástico transparente de \approx 1m de comprimento.
- ii) sala climatizada a 30 \pm 2°C com termostato acoplado ao ar condicionado, marca NOVUS modelo N2000.
- iii) estufa a 105 \pm 5 °C, modelo FANEM S15 SE
- iv) mufla para operação em 550 °C, modelos ALTRONIC ou QUIMIS
- v) balança analítica modelo BOSCH S 2000, sensibilidade 0,0001g , capacidade 200 g e balança semi-analítica de 5000g.
- vi) Centrifugador modelo FANEM 204 N;

Na Figura 6.2 apresenta-se o esquema do conjunto experimental utilizado na determinação da atividade metanogênica específica (teste estático).



Figura 6.2 – Esquema do conjunto experimental do teste de AME.

6.2.4. Teste de Atividade Metanogênica

Os testes de atividade foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, de acordo com FLORENCIO (1994). Eles foram realizados em garrafas de soro de vidro de 600 mL e em duplicata. A incubação foi realizada em uma sala climatizada a $30 \pm 2^\circ\text{C}$. O volume de metano produzido foi medido pelo deslocamento de solução de NaOH (30g/L) de uma garrafa de soro de 1000 mL invertida, sendo pesado diariamente. O volume deslocado da solução corresponde ao CH_4 produzido.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 6.3 mostra a produção de metano acumulada durante o teste de atividade metanogênica do lodo de esgoto doméstico, realizado em batelada.

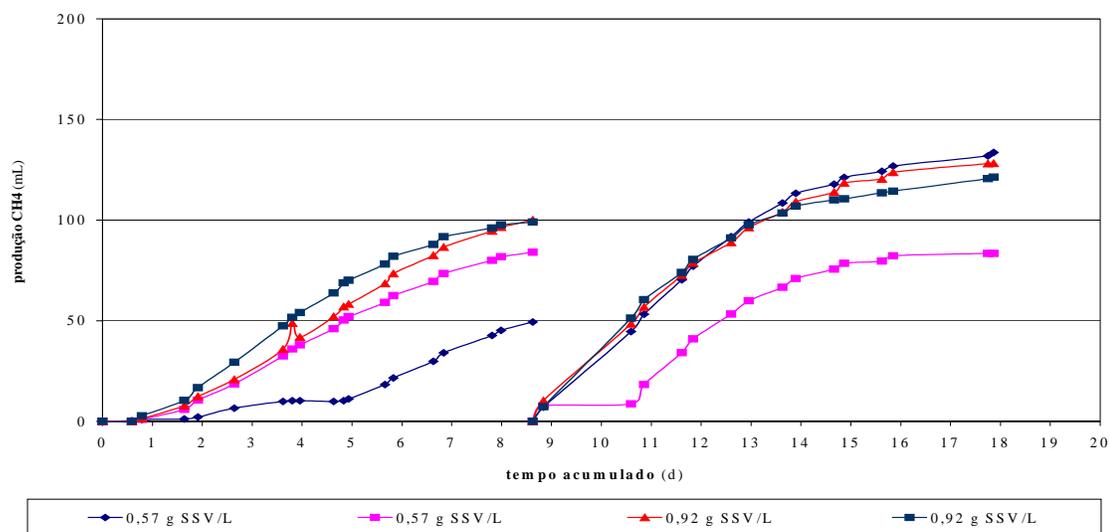


Figura 6.3 - Produção de metano acumulada durante o teste de AME do lodo de esgoto doméstico (centrifugado) com 1gDQO/L.

A Figura 6.4 refere-se à atividade metanogênica do lodo de esgoto doméstico.

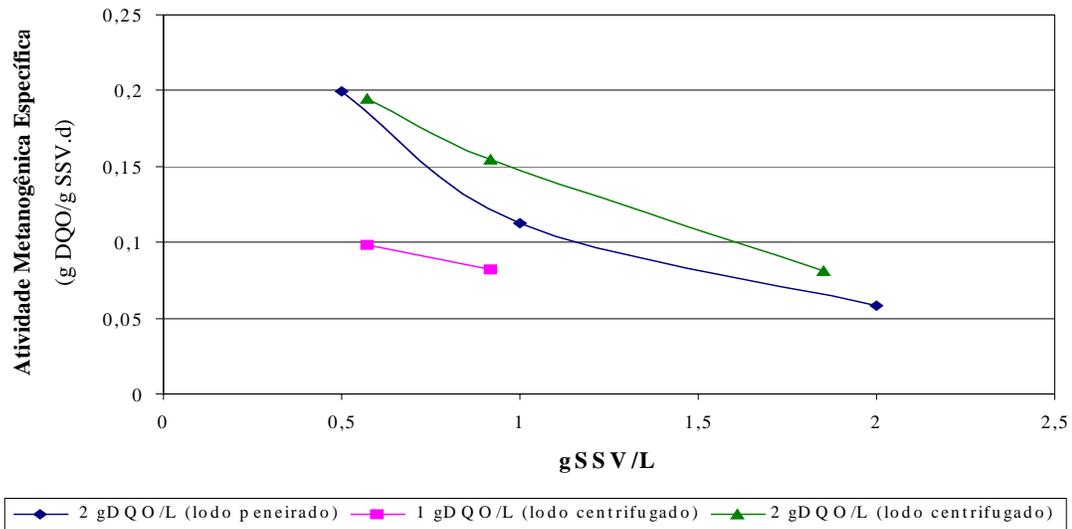


Figura 6.4 – Influência da concentração dos sólidos suspensos voláteis e da concentração de acetato de sódio sobre a AME do lodo de esgoto doméstico.

A Figura 6.4 apresenta o resultado do aumento da AME, a qual é inversamente proporcional à concentração de sólidos suspensos voláteis, e diretamente proporcional a concentração do substrato. A atividade máxima foi encontrada para 0,5 g SSV/L com a concentração de substrato de 2 g de DQO/L.

A Figura 6.5 ilustra o efeito da concentração de biomassa e do substrato na atividade metanogênica.

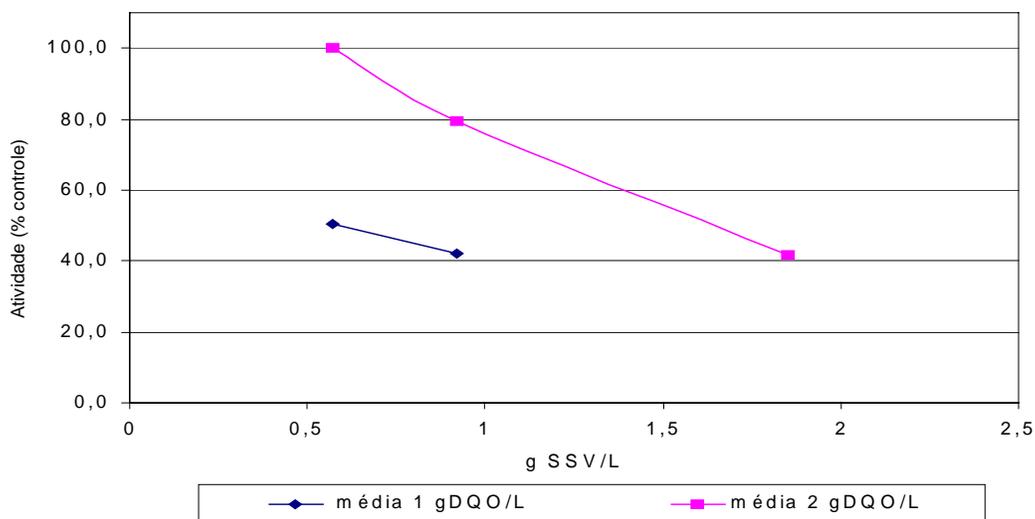


Figura 6.5 – Influência da concentração do acetato de sódio e dos sólidos suspensos voláteis na AME de lodo centrifugado. A atividade é expressa como porcentagem de controle

De acordo com a Figura 6.5 pode-se verificar que a atividade relativa na concentração de 1g de DQO/L com 0,92 g SSV/L representa uma diminuição de cerca de 40% da atividade do controle (2g DQO/L) e que com 0,5 g SSV/L uma diminuição de 50%. Observa-se que a medida que aumenta-se a concentração de biomassa diminui-se a AME.

A Figura 6.6 ilustra o efeito da aclimação na AME do lodo de esgoto doméstico.

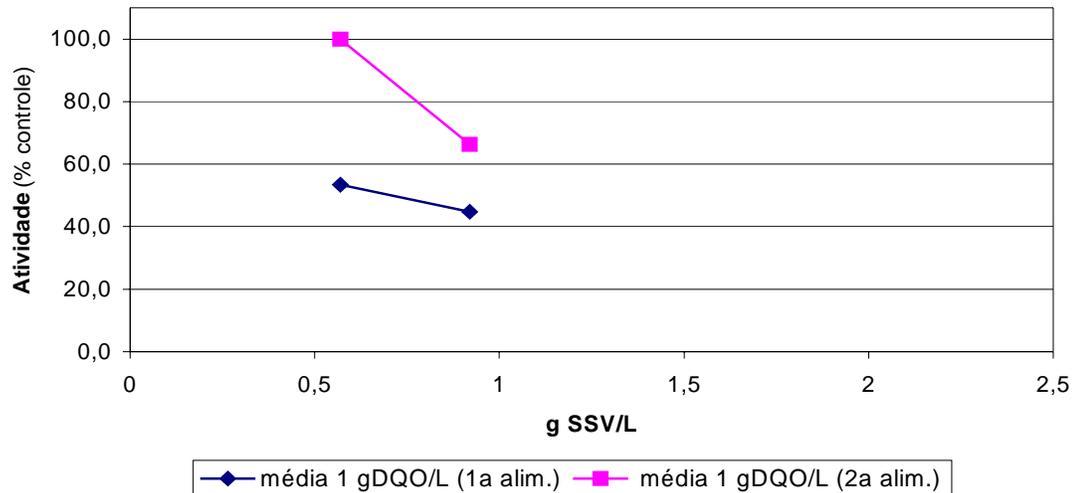


Figura 6.6 – Influência da aclimação sobre a AME do lodo de esgoto doméstico. A atividade é expressa como porcentagem de controle

A análise da Figura 6.6 evidencia o comportamento da AME de lodo floculento centrifugado, onde observa-se um aumento da atividade ao adicionarmos a mesma concentração de substrato após a 1ª alimentação – aclimação da biomassa. A atividade máxima foi encontrada para 0,57 g SSV/L na 2ª alimentação.

O efeito da utilização de lodo peneirado e centrifugado na AME será mostrado na Figura 6.7.

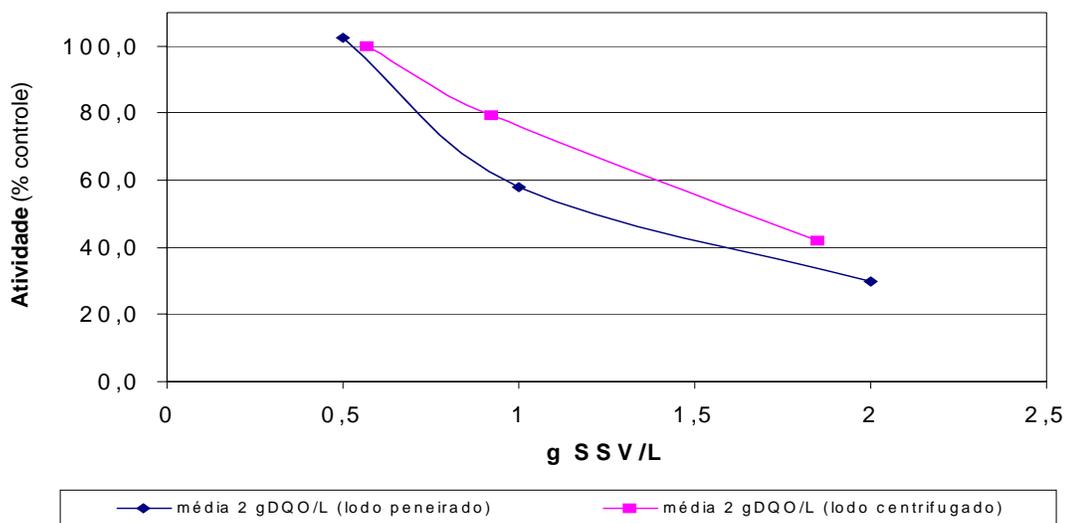


Figura 6.7 – Comparação entre a atividade do lodo de esgoto doméstico peneirado e centrifugado. A atividade é expressa como porcentagem de controle

A Figura 6.7 apresenta uma diminuição da AME em relação ao controle, ao removermos os sólidos finos da concentração de sólidos suspensos voláteis do lodo anaeróbio. A AME não apresentou diferença significativa nas concentrações de 0,5 g SSV/L de lodo peneirado e 0,57 g SSV/L de lodo centrifugado. Ao utilizar-se as concentrações de 0,92 g SSV/L para o lodo peneirado obteve-se uma diminuição de cerca de 20% da atividade do controle e com 1,85 g SSV/L uma diminuição em torno de 10%.

POVINELLI e CAMPOS (2000) em seus experimentos com lodo anaeróbio de esgoto sanitário doméstico com teor de sólidos voláteis de 42,8 % ST e concentrações de 40 mg Al/g ST e 50 mg Fé/g ST, observaram que a atividade metanogênica média nas câmaras 1, 2 e 3 foi, respectivamente 0,05; 0,17 e 0,16g. Estes autores verificaram que os metais como alumínio e ferro provenientes de esgotos sanitários constituíam parte integrante do grânulo anaeróbio, e não prejudicavam a atividade de bactéria ali existente.

Comparando os resultados acima mencionados com o presente trabalho, vemos que mesmo o lodo anaeróbio peneirado da ETE Mangueira apresentava maior atividade metanogênica.

6.4. CONCLUSÕES

A atividade metanogênica específica (AME) determinada no lodo centrifugado estava na faixa de 0,08 a 0,195 g DQO_{CH4}/g SSV.d e no lodo peneirado 0,06 a 0,199 g DQO_{CH4}/g SSV.d. Ao se utilizar a concentração de 2 g DQO/L de substrato e 0,92 e 1,85 g SSV/L de biomassa obteve-se uma atividade metanogênica específica (AME) no lodo centrifugado bem maior do que no lodo peneirado. O lodo anaeróbio floculento da ETE Mangueira apresenta mais do que 50% da concentração de sólidos suspensos fixos (materiais inertes). Ao ser peneirado, tem-se a remoção dos sólidos finos e da biomassa, acarretando assim, uma maior diminuição da AME em relação ao lodo centrifugado.

No teste estático do lodo centrifugado com 1 e 2 g DQO//L de substrato, confirmou-se o problema de difusão do substrato, pois ao se colocar 2 g DQO/L do substrato com 0,57; 0,92 e 1,85 g SSV/L da biomassa, obteve-se 0,19; 0,15 e 0,08 g DQO/g SSV.d da atividade metanogênica específica, respectivamente. A AME obtida utilizando 1g DQO/L do substrato com 0,57 e 0,92 g SSV/L da biomassa, foi de 0,10 e 0,08 g DQO/g SSV.d.

É importante ressaltar que os resultados obtidos nos experimentos confirmam os dados encontrados na literatura, mostrando que mesmo o lodo anaeróbio tendo uma baixa concentração de sólidos suspensos voláteis (biomassa) possui uma massa ativa para converter o substrato (acetato de sódio) em metano.

7.0. CONCLUSÕES GERAIS

As características físico-químicas dos lodos das ETAs são influenciadas decisivamente pelas variações na qualidade da água bruta e a etapa de tratamento, e as características da água tratada, a composição do esgoto e o processo de tratamento são os maiores responsáveis pela qualidade dos lodos das ETEs estudadas (Mangueira, Vila São João e Cabo) influenciando, principalmente no tratamento e disposição final destes biossólidos.

Diferenças significativas foram observadas nos teores de umidade dos tipos de lodos no material analisado que foi diagnosticado de acordo com a estação de tratamento e o tipo de processo utilizado, ou seja, ETAs (decantador e filtro) e ETEs (anaeróbias e aeróbias). Nas ETAs analisadas, os maiores teores de umidade foram encontrados nos lodos dos filtros os quais apresentaram os seguintes valores 99,8% – 99,9% (MU). Examinou-se também o grande teor de sólidos totais nos decantadores que favorece a ocorrência de processos anaeróbios dissolvendo para água tratada os metais presentes no lodo. Valores idênticos de umidade foram descobertos na ETE Cabo. Durante o processo de desidratação, na ETE Mangueira, detectou-se que a perda de umidade do lodo ocorreu em uma semana de secagem no período de verão e inverno, atingindo teor superior a 20% de sólidos totais. Este estudo mostrou a viabilidade da remoção para tratamento (co-compostagem e vermicompostagem) do lodo em um menor período comparando com os fornecidos pela literatura (capítulo 5) caso a disposição final seja a reciclagem agrícola.

O parâmetro sólido total fixo diferenciava as características dos lodos das ETAs, evidenciando que no decantador o lodo possuía uma maior concentração de materiais inorgânicos, exibindo 70,6 % - 81,1% (dos ST). Em relação as ETEs, confirmou-se que as anaeróbias exibiam maior teor de STF. Sendo que a ETE Vila São João caracterizava-se por possui 68,1% - 78,6% (dos ST) de STF. Na ETE Mangueira, as concentrações de STF, dentro do reator UASB nas diversas profundidades, eram praticamente uniformes, variando na faixa de 60% -70% observando apenas pequena oscilação destes valores. Convém salientar que na literatura, os teores de STF ficam abaixo dos encontrados neste estudo. Acredita-se que devido a significativa quantidade de areia na rede coletora, o super dimensionamento das bombas de sucção do afluente das ETEs anaeróbias e a pobre retenção nos desarenadores

existentes. No lodo da ETE Mangueira, ainda que ouvesse mais de 50% da concentração de sólidos suspensos fixos, constatou-se que a atividade metanogênica específica (AME) no lodo centrifugado estava na faixa de 0,08 a 0,195 g DQO_{CH4}/g SSV.d e no lodo peneirado 0,06 a 0,199 g DQO_{CH4}/g SSV.d. tendo como referência a concentração de 2 g DQO/L de substrato e 0,92 e 1,85 g SSV/L de biomassa, tais dados encontrados coincidem com os apresentados na literatura.

No período estudado, foi observado que ocorria uma mudança nas características dos lodos das ETAs, provavelmente devido as unidades de tratamentos e as variações sazonais como a precipitação pluviométrica e as composições físicas, químicas, biológicas e hidráulicas do manancial, apresentando pH (4,1 – 7,3) na faixa ácida na maior parte do período analisado, condutividade elétrica (62,3 – 1321 σ S/cm), e com os seguintes teores de metais, expressos em g.kg⁻¹ de MS: sódio (0,4 – 22,4), ferro (6,5 – 64,5), cálcio (1,4 – 9,4), magnésio (0,9 – 6,3), silício (0,1 – 0,3), alumínio (39,6-128,0) e manganês (0,04 – 7,8). Notou-se ainda, que os valores de pH dos lodos das ETAs favorecem a ocorrência de processos anaeróbios no decantador com dissolução de metais do lodo para água tratada. As concentrações de alumínio, sódio, ferro, cálcio, magnésio e manganês se encontravam por demais elevadas e por serem dispostas sem nenhuma forma de tratamento prévio, no corpo d'água superficial mais próximo das estações, favoreceram o aumento do grau de poluição, contribuindo para uma crescente degradação do meio ambiente em Pernambuco.

Nas ETEs analisadas, se constatou que o valor de pH oscilava na faixa de ácida à básica nas ETEs Mangueira e Cabo, enquanto a ETE Vila São João permaneceu na faixa alcalina. Os maiores teores (g/kg de MS) de nutrientes foram encontrados na ETE Cabo, nitrogênio (47,3 – 66,3), fósforo (0,60 – 0,80), sulfato (31,5) do que nas ETEs anaeróbias (Mangueira e Vila São João). No lodo da ETE Vila São João, se destaca os teores de alumínio (25,6 – 88,2), condutividade elétrica (2280 – 6380 σ S/cm) e alcalinidade (1086,5 – 3496,9 mg de CaCO₃/L), todavia quando estava em funcionamento, apresentava maior concentração de sódio (11,3 – 36,3), potássio (5,55 – 21,2) e silício (4,41 – 6,14). Os maiores teores de ferro (0,22 – 43,9) foram encontrados nos lodos das ETEs anaeróbias.

Na ETE mangueira, durante o mês de fevereiro de 2000, destacou-se cálcio (29,8 – 30,5), magnésio (5,92 – 5,96) e manganês (0,32). Em experimento nas diversas alturas dentro do reator UASB, a concentração (g/kg de MS) de ferro (33,3 a 34,5), cálcio (24,6 a 26,9), magnésio (2,4 a 2,4), potássio (2,06 a 2,3), sódio (1,3 a 1,81), manganês (0,21 a 0,22) e silício (0,13 a 0,14) permaneceu praticamente uniforme. No processo de desidratação do lodo, foram observadas diferenças significativas na condutividade elétrica e nos teores de macro e micronutrientes, do início ao fim do experimento. Acredita-se que os teores de alumínio, ferro e cálcio no lodo podem ter influenciado positivamente no processo de secagem, todavia poderia apresentar efeito salino devido a decomposição deste lodo no solo, chegando a provocar elevação da condutividade elétrica da solução do solo acima dos níveis aceitáveis para as plantas se a disposição final do biossólido for o solo ou aplicação na agricultura sem um tratamento prévio que corrija estes teores de sais no lodo.

Nos lodos das ETAs e ETEs, constatou-se que para sua utilização agrícola os teores de metais pesados estavam abaixo do especificado pelas legislações (SANEPAR e CETESB) vigente no Brasil, assim não provocariam degradação da qualidade ambiental, podendo ser utilizado como fertilizador de solos, exceto a ETE aeróbia que apresentava o teor de cobre acima do especificado.

A relevância destes dados reside no fato de que atualmente, a disposição final dos lodos estudados ocorre no terreno das próprias ETEs, pois o aterro controlado da Muribeca em Jaboatão dos Guararapes (PE), não recebe este tipo de resíduo. É importante ressaltar que os lodos das ETEs estudados são utilizados como fertilizante pelos moradores das localidades próximas das ETEs e não recebem nenhum tipo de tratamento para minimizar o efeito dos metais tóxicos (alumínio, ferro, manganês, etc como no caso das ETEs anaeróbias) e pesados (como no caso do cobre da ETE aeróbia) e remoção dos patógenos. O presente trabalho destaca a necessidade de se efetuar um tratamento que vise alternativas de disposição final apropriada com aproveitamento do valor econômico e agrônômico dos biossólidos.

8.0. SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Abaixo, seguem algumas sugestões, visando pesquisas futuras no campo de estudo apresentado.

i) Estações de Tratamento de Água.

Corrigir o pH d'água bruta e aumentar a frequência da lavagem dos decantadores com a finalidade de eliminar a formação dos processos anaeróbios nas ETAs em Pernambuco.

Construir lagoas (1,20 a 1,80 m de profundidade líquida) ou leitos de secagem (60 cm) a fim de receber as águas das lavagens dos decantadores com drenagem do líquido percolado dos leitos para um tanque de equalização com 7,5% de recirculação ao início do tratamento, diminuindo também o desperdício d'água.

Construir tanque de equalização para a água de lavagem dos filtros, onde o material sólidos (partículas flocculentas) deve ser mantido em suspensão por agitação mecânica a uma taxa de 7,5% recircular ao início do tratamento, reduzindo a praticamente zero as perdas no processo, além de trazer alguns benefícios, tais como a redução na dosagem e no consumo de coagulante.

Recuperar os coagulantes dos lodos dos decantadores das ETAs e/ou aplicar nas industriais.

ii) Estações de Tratamento de Esgoto.

Estima-se que a produção de biossólidos na ETE Mangueira seja de aproximadamente 275,2 m³ de lodo por ano (86,4 – 94,8 % (de MU) de umidade) e na ETE Cabo de aproximadamente 1260 m³ de lodo por ano com 99,8 – 99,9% (de MU) de umidade.

Dentre as diferentes alternativas para a disposição final e usos dos biossólidos no estado de Pernambuco, pelos benefícios como fonte de matéria orgânica, micro e macronutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) para as plantas, a reciclagem agrícola é a mais viável, sendo sua aplicação amplamente recomendada como condicionador de solo e ou fertilizante após devida correção dos teores dos metais e patógenos no lodo.

Estudar qual o melhor tratamento de desinfecção (co-compostagem e vermicompostagem, visto que a calagem do lodo aumentaria a quantidade de material inerte),

manejo da adubação e dosagens de lodo em diversas culturas sem riscos de toxicidade às plantas, aos animais e ao homem, e de poluição ambiental.

Em Pernambuco, na Região Metropolitana do Recife (zona do litoral e mata) onde o solo possui textura argilosa e média (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVd) com pomares de manga, caju, jaca, banana, laranja, coco, sapoti, etc; cultura de milho, sorgo, cana-de-açúcar, capim elefante e pastagem; e reflorestamento com eucalipto, observa-se que poderiam ser realizados diversos trabalhos de pesquisa sobre a aptidão agrícola do lodo de esgoto.

iii) Quantificar o teor de silício e dos metais utilizando digestão com ácido fluorídrico, devido a grande quantidade de material inerte nos lodos estudados.

iv) Determinar as concentrações dos metais extraídos através dos ensaios de lixiviação (ABNT-NBR 10.005) e solubilização (ABNT-NBR 10.006).

v) Realizar limpeza das tubulações de entrada da água residuária das células do reator e efetuar freqüentemente descarte de lodo para minimizar o acentuado acúmulo de materiais inertes das ETEs anaeróbias melhorando a característica deste lodo.

vi) Efetuar a caracterização microbiológica (salmonelas, pseudomonas, helmintos e coliformes totais e fecais) dos lodos das ETEs estudadas

vii) Identificar os grupos de bactérias metanogênicas, via o uso da técnica de microscopia eletrônica de varredura por contraste e fluorescência de raios-X dos lodos das ETEs anaeróbias.

viii) Executar o teste de respirometria do solo da RMR.

9.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10.004 – Resíduos Sólidos: Classificação*. ABNT, set. 1987. 63 p.

AISSE, M.M. e ANDREOLI, F.N. *Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reator tipo RALF, através do uso de leito de secagem e de centrífuga tipo decanter*. **SANARE**, Curitiba, vol. 11, n.º 11, p. 37 – 43, jan.-jun.1999.

AISSE, M.M.; VAN HAANDEL, A.C.; VON SPERLING, M.; CAMPOS, J.R.; COURAUCCI FILHO, B. e ALÉM SOBRINHO, P. *Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios*. **In:** Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. CAMPOS, J.R. (coordenador), Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1999. Cap. 11, p. 271 – 299.

ALEM SOBRINHO, P. *Tratamento de esgoto e geração de lodo*. **In:** Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Editores BETTIOL, W. e CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 1, p. 11 – 24.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APWA; AWWA; WPCF, 19th edition, Washington, 1995. Part 1000 – 4000, 4-138 p.

ANDRADE NETO, C.O. e CAMPOS, J.R. *Introdução*. **In:** Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. CAMPOS, J.R. (coordenador), Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1999. Cap. 1, p. 1 – 28.

ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P.; LARA, A.I. e WOLTER, F.R. *Proposição de plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná*. **SANARE**, Curitiba, vol. 7, n.º 7, p. 76 – 84, jan.-jun. 1997a.

ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, S.C.; FERNANDES, F. e LARA, A.I. *Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná*. **SANARE**, Curitiba, vol. 7, n. 7, p. 53 – 60, jan.-jun. 1997b.

ANDREOLI, C. V. e FERNANDES, F. *Principais fatores limitantes (metais pesados e patógenos) para o uso agrícola do lodo de esgoto no Paraná*, **SANARE**, Curitiba, vol. 7, n.º 7, p. 68 – 72, jan.-jun. 1997.

ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A.C.; TELES, C.R.; CHERUBINI, C.; BERNERT, P.M.; FAVARIN, FABIANO e CASTRO, L.R. *Avaliação da eficiência do uso de estufa plástica, revolvimento de lodo e injeção de calor na secagem e desinfecção de lodo anaeróbio em leito de secagem*. Estufa. **In:** IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - SILUBESA, Anais em CDROM, Porto Seguro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES/ABRH, Vol.1, 2000.

BERTON, R.S. *Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados*. **In:** Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Editores BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 16, p. 259 – 268.

BETTIOL, W. e CAMARGO, O.A. (Editores) *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

BIDONE, F.R.A. e POVINELLI, J. *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos, SP: EESC/USP, 1999. 109 p.

BRANCO, S.M. *Hidrobiologia aplicada à Engenharia Sanitária*. 3ªed., CETESB, São Paulo, 1986. 620 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 20/86*. 4ª ed. ver. e aum. Brasília: CONAMA, 1992. 245 p.

CAMPOS, J.R. (coord.) *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.

CAMPOS, J.R. *Alternativas para tratamento de esgotos*. **In:** Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias. Editores: CASTELLANO, E.G.; CHAUDHRY, F.H. São Carlos, SP: EESC-USP, 2000. Cap. 6, p. 87 – 106.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental , UFMG, Belo Horizonte, 1997. 245 p.

CORDEIRO, J. S. *Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 1, p. 1 – 19.

CORDEIRO, J. S. *Remoção de água de lodos de ETAs através de filtração forçada*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 5, p. 107 – 124.

CORDEIRO, J. S. *Remoção natural de água de lodos de ETAs utilizando leitos de secagem e lagoas de lodo*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 6, p. 125 – 141.

CORDEIRO, J. S. e CAMPOS, J. R. *A remoção de águas de lodos em leitos de secagem não convencionais - ETAs*. N^o39, **Saneamento Ambiental**, Ano VI, p. 30 – 35, mai.-jun. 1996.

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDRADE NETO, C.O.; NOUR, E.A.; ANDREOLI, F.N.; SOUZA, H.N.; MONTEGGIA, L.O.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M.M.; FIGUEIREDO, R.F. e STEFANUTTI, R. *Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo*. **In:** Tratamento de esgotos sanitários por

processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999a. Cap. 13, p. 321 – 356.

DI BERNARDO, L.; CARVALHO, E.H. e SCALIZE, P.S. *Disposição de resíduos líquidos de ETAs em ETEs*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 8, p. 169 – 202.

DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P.S. e SOUZA FILHO, A.G. *Água de lavagem de filtros rápidos*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 7, p. 143 – 168.

ÉDEN, G.E.; McAULIFFE, C.A . e BENN, F.R. *Química e poluição*. Livros Técnicos e Científicos - Editora da Universidade de São Paulo (LTC/EDUSP), Rio de Janeiro, 1981. p. 96 – 109.

EGREJA FILHO, F.B.; REIS, E.L.; JORDÃO, C.P. e NETO, J.T.P. *Avaliação quimiométrica da distribuição de metais em composto de lixo urbano domiciliar*. **Revista Química Nova**, SBQ, vol. 22, n. 3, p. 324 – 328, mai.-jun. 1999.

ESBENSEN, K.; SCHONKOPF, S. e MIDTGAARD, T. *Multivariate Analysis in Practice*. CAMO A/S, Trondheim, 1994. 348 p.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. *Vocabulário básico de meio ambiente*. Rio de Janeiro: Serviço de Comunicação Social da Petrobrás, 4^a edição, mai. 1992.

FERNANDES, F. *Lodo em estação de tratamento de água e esgoto*. Vol. 2, Nº1, **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, Rio de Janeiro, p. 169, jan.-mar. 1997.

FERNANDES, F. (coordenador). *Manual Prático para Compostagem de Biossólidos. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico* - PROSAB, Rio de Janeiro; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 1999. 84 p.

FERNANDES, F. *Estabilização e higienização de biossólidos*. **In:** Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Editores BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 3, p. 45 – 67.

FERREIRA, A.C., ANDREOLI, C.V e JÜRGENSEN, D. *Produção e características dos biossólidos*. **In:** Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 1999a. Cap. 1, p. 16 – 25.

FERREIRA, A.C., ANDREOLI, C.V e LARA, A.I. *Riscos associados ao uso do lodo de esgoto*. **In:** Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, 1999. Cap. 3, p. 29 – 33.

FLORENCIO, L. *The fate of methanol in anaerobic bioreactors*. Ph.D dissertation. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands, 1994. 137 p.

FORESTI, E.; FLORENCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M. e CAVALCANTI, P.F.F. *Fundamentos do tratamento anaeróbio*. **In:** Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. CAMPOS, J.R. (coordenador), Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1999. Cap. 2, p. 29 – 52.

GAMA, A.M.C.F.; QUEIROZ, A.B. e GENERINO, R.M. *Tratamentos de efluentes industriais*. Apostila do curso da Univerão, Universidade Católica de Pernambuco, Departamento de Química. Recife, 1993. 118 p.

GONÇALVES, R.F.; LIMA, M.R.P. e PASSAMANI, F.R.F. *Características físico-químicas e microbiológicas do lodo de lagoas*. **In:** Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. FRANCI, R. (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2000. Cap. 3, p. 15 – 24.

GONÇALVES, R.F. e LUDUVICE, M. *Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto*. **In:** Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Editores BETTIOL, W. e CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 2, p. 25 – 44.

GONÇALVES, R.F. e OLIVEIRA, F.F. *Estimativa da formação de lodo em lagoas anaeróbias e facultativas primárias*. **In:** Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. FRANCI, R. (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2000. Cap. 3, p. 15 –24.

HAMMER, M.J. *Sistemas de abastecimento de água e esgotos*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1979. 563 p.

ILHENFELD, R.G.K.; ANDREOLI, C.V. e LARA, A.I. *Higienização do lodo de esgoto*. **In:** Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, 1999. Cap. 4, p. 34 – 45.

ILHENFELD, R.G.K.; PEGONINI, E.S. e ANDREOLI, C.V. *Fatores Limitantes*. **In:** Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, 1999. Cap. 5, p. 46 – 63.

IMHOFF, K. e IMHOFF, K.R. *Manual de tratamento de águas residuárias*, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1986.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. *Tratamento de esgoto doméstico*. 3^aed., Rio de Janeiro, ABES, 1995. vol. 1, 720 p.

KAWAMOTO, P.H. e FERREIRA FILHO, S.S. *Efeito da oxidação química no processo de condicionamento e desidratação de lodos de estações de tratamento de água*. **In:** IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - SILUBESA, Anais em CDROM, Porto Seguro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES/ABRH, vol. 1, 1999.

KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LIMA, A.F. *Problemas de Engenharia Sanitária*. 2ª Edição, Editora Universitária da UFPE, Recife, 1996.

LIMA, M.R.P. e GONÇALVES, R.F. *Desidratação do lodo de lagoas*. **In:** *Gerenciamento do lodo de Lagoas de estabilização não mecanizadas*. Ricardo Franci (coordenador). PROSAB - Programa de pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 6, p. 49 – 61.

LUDUVICE, M. *Experiência da Companhia de Saneamento do Distrito Federal na reciclagem agrícola de biossólido*. **In:** *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Editores BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 7, p. 153 – 162.

MASSART, D.L.; VANDEGINSTE, B.G.M.; DEMING, S.N.; MICHOTTE, Y. e KAUFMAN, L. *Chemometrics: a Textbook*. Elsevier, Amsterdam, 1988, 488 p.

MENDONÇA, L.C. e CAMPOS, J.R. *Caracterização física, química e biológica de biossólidos provenientes de um reator UASB*. **In:** IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - SILUBESA, Anais em CDROM, Porto Seguro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES/ABRH, 2000. vol. 1, p. 735 – 745.

MESTRADO DE ENGENHARIA CIVIL. *Normas para a Apresentação Gráfica de Teses*. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Escola de Engenharia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Recife, ago. 1996. 15 p.

METCALF e EDDY. *Design of facilities for the treatment and disposal of sludge*. **In:** *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3ªed., Inc. New York, McGraw-Hill, 1991. p. 765 – 926.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria nº 1469*, 29 de dezembro de 2000. Padrões de Potabilidade. 34 p.

MIYAZAWA, M.; KAMAGAWA, M.Y.; MATTOS, M.S.; MORAES, S.R. e PARRA, M.S.. *Lixiviação de metais pesados do lodo de esgoto no solo*. **SANARE**, Curitiba, vol. 5, n. 5, p. 63 – 67, fev.-jun. 1996.

MIYAZAWA, M.; GIMENEZ, S.M.N.; FERNANDES, F.; OLIVEIRA, E.L. e SILVA, S.M.C.P. *Efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta*. In: *Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções*. Curitiba: SANEPAR, Finep, 1999. Cap. 4, p. 118 – 237.

MOITA NETO, J.M. e MOITA, G.C. *Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados*. **Revista Química Nova**, SBQ, vol. 21, n. 4, p. 467 – 469, jul.-ago. 1998.

MORAL, R.; PEDRENO, J. N.; GOMEZ, I. e MATAIX, J. *Quantitative analysis of organic wastes: Effects of sample preparation in the determination of metals*. **COMMUNICATIONS IN SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSE** 27: (3-4), 1996. p. 753 – 761.

NEDER, K.D. e PINTO, M.T. *Tratamento de lodo de ETEs de lodos ativados: estágio atual*. 16^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 1991. vol. 2, p.70 – 81.

NICOLL, E.H. *Small water pollution control works - design and practice*. Ellis Horwood Limited, England, 1989. 502 p.

POVINELLI, S.C.S. e CAMPOS, J.R. *Reatores anaeróbio compartimentado para tratamento de esgotos sanitários: características dos grânulos*. **In:** Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo - coletânea de trabalhos técnicos. CAMPOS, J.R. (Coordenador). Projeto PROSAB, São Carlos, SP, 2000, p. 272 – 279.

REALI, M.A.P. *Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES. 1999. Cap. 2, p. 21 – 39.

REALI, M.A.P. e PATRIZZI, L.J. *Espessamento de lodos de ETAs*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 3, p. 41 – 84.

REALI, M.A.P.; PATRIZZI, L.J. e CORDEIRO, J.S. *Desidratação de lodos por centrifugação*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 4, p. 58 – 106.

RICHTER, C.A. *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. Editora Edgard Blücher LTDA. 1ª edição, São Paulo, 2001. 102 p.

SANTOS, H.F. e TSUTIYA, M.T. *Aproveitamento e disposição final do lodo de estações de tratamento do Estado de São Paulo*. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, Rio de Janeiro, vol. 2, n. 2, p. 70 – 81, abr.-jun. 1997.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE. *Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-PE)*. 1º Plano do Estado de Pernambuco, vol. 3. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Diretoria de Recursos Hídricos, Recife, PE, 1998.

SENA, M.M.; POPPI, R.J.; FRIGHETTO, R.T.S. e VALARINI, P.J. *Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos*. **Revista Química Nova**, SBQ, v. 23, n. 4, p. 547 – 556, jul.-ago. 2000.

SHARAF, M.A.; ILLMAN, D. L. e KOWALSKI, B.R. *Chemometrics*. John Willey & Sons, Nova York, 1986. 332 p.

SILVA, M. O. S. A. *Análise físico-química para controle de estações de tratamento de esgotos*. CETESB - Companhia Pernambucana de Saneamento Ambiental, São Paulo, 1977. 222 p.

SNYMAN, H.G.; TERBLANCHE, J.S. e VAN DER WESTHUIZEN, J.L.J. *Management of land disposal and agricultural reuse of sewage sludge within the framework of the current South African guidelines*. **Water Science and Technology** (IWA), Published by Elsevier Science Ltd, Printed in Great Britain, vol. 42, n^o 9, p. 13 – 20, 2000.

VAN HAANDEL, A.C. e LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima*. Campina Grande, PB: Epgraf, 1994. A5.2-3 p.

VAN HAANDEL, A. e MARAIS, G. *O comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicação para Projetos e Operação*. Campina Grande, PB: Epgraf, 1999. 472 p.

VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos – Princípios do tratamento biológico de águas Residuárias*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, vol. 1, Belo Horizonte, 1996. 243 p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2000. www.inmet.gov.br

YÜKSELEN, M.A. *Applicability of UASB sludge to agricultural lands*. **Water Science and Technology** (IWA), Published by Elsevier Science Ltd, Printed in Great Britain, vol. 37, n^o 8, p. 153 – 159, 1998.

LIVRO E ARTIGOS CONSULTADOS.

AISSE, M.M.; FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. *Aspectos Tecnológicos e de Processos*. **In:** Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba: SANEPAR/Finep/ Padct, 1999. Cap. 2, p. 49-119.

ANDRAUS, S.; BORGES, J. C.; MEDEIROS, M. L. B. e TOLEDO, E. B. S. *Sobrevivência de bactéria entéricas do lodo de esgoto, em solo agrícola* **SANARE**, Curitiba, vol. 8, n.º 8, julho a dezembro, p. 66-70, 1997.

ANDREOLI, C.V. FERNANDES, F. e DOMASZAK, S.C. *Reciclagem agrícola do lodo de esgoto – estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária*. SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Curitiba: Paraná, 1997.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. e LARA, A.I. *Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná*. **SANARE**, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 53-60, jan.-jun. 1997.

ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. *Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto*. SANEPAR -Companhia de Saneamento do Paraná , Curitiba, 1998.

ANDREOLI, C.V. (coord.). *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, 1999. p. 97.

BARBOSA, C.M.B.M. e ALMEIDA, Y.M.B. *Normas para a Apresentação de Dissertações e Teses*. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Química, Pós-Graduação em Engenharia Química, Recife, 1998.

BISCAIA, R. C. M.; MIRANDA, G. M. *Uso de lodo de esgoto calado na produção de milho*, **SANARE**, Curitiba, vol. 5, n.º 5, , p. 86-89, fev. – jun. 1996.

BOAVENTURA, E. *Como ordenar as idéias*. Editora Ática, Série Princípios, 3ª edição, 1993.

BORGES, P.R. *Lodos originados do pré tratamento de águas residuárias das indústrias da Região Metropolitana de São Paulo*. **Revista DAE**, v. 47, n. 148, Mar. 1987.

BURGOS, N.; JACOMINE, P.K.T. e CAVALCANTI, A.C. *Aptidão agrícola dos solos do Estado de Pernambuco* (Interpretação do levantamento exploratório – reconhecimento de solos). Boletim Técnico n.º 27, Série Pedalogia n.º 15, Recife: DNPEA. Rio de Janeiro: DNPEA. Brasil: SUDENE, DRN, 1973.

CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M. e PEGORINI, E. *Análise econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE Belém*. **SANARE**, Revista Técnica da SANEPAR, Curitiba, vol. 11, n.º 1, jan.-jun. 1999.

CETESB – Companhia de Tecnologia Ambiental. *Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação*. Norma P 4.230 (manual técnico). São Paulo, 1999. 33 p.

CHERNICHARO, C.A.L.; VAN HAANDEL, A.; CAVALCANTI, P.F.F. *Controle operacional de reatores anaeróbios*. **In:** Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 9, p. 221-247.

CLIVATI, A. A.; RODOLFF, G. *Transporte, pela erosão, no lodo de esgoto aplicado no solo*, **SANARE**, Curitiba, vol. 5, n.º 5, p. 93-98, fev. - jun. 1996.

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDRADE NETO, C.O.; NOUR, E.A.; ANDREOLI, F.N.; SOUZA, H.N.; MONTEGGIA, L.O.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M.M.; FIGUEIREDO, R.F.; STEFANUTTI, R. *Tecnologia do tratamento de águas residuárias no solo: infiltração rápida, irrigação e escoamento superficial*. **In:** Tratamento de esgoto sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999b. Cap. 14, p. 357-407.

COSTA, A.R.F.; PIZZI, L.C.V.; BERTOLDO, M.E.L.; LUIS, S.M.B. *Orientação metodológicas para produção de trabalhos acadêmicos*. Maceió: EDUFAL, Série Apontamento, 4ª edição, 1999.

DESCHAMPS, C. e FAVARETTO, N. *Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura de feijoeiro e do girassol. SANARE*, Curitiba, vol. 8, n.º 8, p. 33-38, jul. – dez. 1997.

DIONÍSIO, J. A. e RESSETTI, R. R. *Avaliação da capacidade da minhoca EISENIA fetida (Savigny, 1826) de desinfecção e desinfestação do lodo de esgoto. SANARE*, Curitiba, vol. 8, n.º 8, p. 50-55, jul. – dez. 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de Análise de solo. Manual de métodos de Análise de solo*. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos, 1979. p. 212

FERNANDES, F.; COELHO, L.O.; NUNES, C.W.; e SILVA, S.M.C.P. *Aperfeiçoamento da tecnologia de compostagem e controle de patógenos. SANARE*, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 36-45, fev.- jun. 1996.

FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P.; BORGES, J.C.; CANTO, L.A. e MEDEIROS, M.L.B. *Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-BELÉM com vista a seu uso agrícola. SANARE*, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 46-58, fev. - jun. 1996b.

FERREIRA, L.G.R. *Redação científica: como escrever artigos, monografias, dissertações e teses*. 2. ed. ver. amp., Fortaleza, EUFC, 1998.

FERREIRA, A.C., ANDREOLI, C.V e JÜRGENSEN, D. *Destino final do lodo. In: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 1999b. Cap. 2, p. 26-33.

GONÇALVES, R.F. *Introdução ao Gerenciamento do Lodo de Lagoas de Estabilização. In: Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas*. FRANCI, R. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 2000. Cap. 1, p. 1-5.

GONÇALVES, R.F. *Formação de Lodo de Lagoas de Estabilização Anaeróbias ou Facultativas Primárias*. **In:** Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. FRANCI, R. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 2000. Cap. 2, p. 6–14.

GONÇALVES, R.F.; BARRETO, E.; BRANDÃO, J.; PIOTTO, Z. *Recuperação de Coagulantes de Lodos de Estações de tratamento de Águas*. **In:** Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 9, p. 203-225.

GONÇALVES, R.F.; NASCIMENTO; C.G.; LIMA, M.R.P. *Remoção do lodo das lagoas*. **In:** Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. FRANCI, R. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 2000. Cap. 5, p. 39–47.

HAANDEL, A.C. e LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos – um manual para regiões de clima quente*. 1994.

HANDA, R.M.; NOGUEIRA, A. *Determinação de umidade a 65 °C em amostras de lodo de esgoto*. **In:** Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, 1998a. Cap. 10, p. 73-74.

HANDA, R.M.; NOGUEIRA, A. *Determinação de pH de amostras de lodo de esgoto*. **In:** Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, 1998b. Cap. 11, p. 75-76.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P. e SILVEIRA, C.O. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado de Pernambuco*

(Descrição de perfis de solos e análises). Boletim Técnico1 n.º26, Série Pedologia n.º14, V. 2, Recife: DNPEA. Rio de Janeiro: DNPEA. Brasil: SUDENE, DRN, 1972.

LARA, A.I.. *Monitoramento*. ANDREOLI, C.V. (coord.). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, 1999. Cap. 8, p. 83-96.

LEWIS JONES, R. e WINKLER, M. *Sludge parasites and other pathogens*. Ellis Horwood Limited, England. 1991.

LOMBI, E.; GERZABEK, M. H. e HORAK, O. *Mobility of heavy metals in soil and their uptake by sunflowers grown at different contamination levels*. **AGRONOMIE**. 18: (5-6) 361-371, jun.-aug. 1998.

LOURENÇO, R. S.; ANJOS, A. R. M.; LIBARDI, P. L. e MEDRADO, M. J. S. *Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da Bracatinga*, **SANARE**, Curitiba, vol. 5, n.º 5, p. 90-92, fev. – jun. 1996.

LUDUVICE, M. *O “adubo” da Caesb*, Saneamento ambiental, n. 52, p. 28, jul. - ago. 1998.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. *Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas*. **In:** Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Editores BETTIOL, W. e CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 1, p 11-24.

MESSIAS, A.S. *Uso agrônômico de resíduo industrial: um estudo de caso*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.

MORGA, A.A.; USTRA, L.A.R.; GALLI, U.F.; ALVES, R.T. *Biogás e biofertilizante a partir de resíduos orgânicos*. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v. 35, n. 338, p. 6 – 22, set. - out. 1982.

MOSCALEWSKI, W. S.; LEAL, T. E.; RAUTENBERG, L. C. X. B. SELL, A. M.; SERATIUCK, L. I. K. I. e SOUZA, C. L. G. *Eliminação por tratamento químico do Vibrio cholerae*. **SANARE**, Curitiba, vol. 5, n.º 5, p. 59 - 62, fev. - jun. 1996.

NUNES, J.A. *Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais*.

PASSAMANI, F.R.F. e GONÇALVES, R.F. *Higienização de lodos de esgotos*. **In:** Gerenciamento do lodo de Lagoas de estabilização não mecanizadas. Ricardo Franci (coordenador). PROSAB - Programa de pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 2000. Cap. 7.

PRADO, H. *Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento* 2ª ed. ver. e ampl., Piracicaba – SP, 2001.

SALLES, R. F. M.; DESCHAMPS, C. *Efeito dos teores de metais pesados nos frutos de Macieira (Malus domestica) submetida à aplicação de lodo de esgotos como fertilizante orgânico*. **SANARE**, Revista Técnica da SANEPAR, Curitiba, vol. 11, n.º 11, jan.-jun. 1999.

SANTOS, H.F. *Unidade produtora de fertilizante de Vila Leopoldina*. **Revista DAE**, v. 49, n. 157, out.-dez. 1989.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L. *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw-Hill Book Company. Third Edition. 532 p.

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. e TRACZ, J. *Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de Helminthos*. **SANARE**, Curitiba, vol. 8, n.º 8, p. 24-32, jul. – dez. 1997.

SOUZA, M.L.P.; ANDREOLI, C.V.; AMARAL, M.B. e DOMASZAK, S.C. *Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná*. **SANARE**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 68-75, fev. - jun. 1996.

VON SPERLING, M. *Alternativas tecnológicas para o tratamento de águas residuárias. Ação Ambiental*, Revista Bimestral, Ano II, n.º6, jun. – jul. 1999.

WISNIEWSKI, C.; M NETO, J. A.; PEREIRA, A. M.; RADOMSKI, M. I. e SESSEGOLO, G. C. *Uso do lodo de esgoto da ETE-BELÉM na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. SANARE*, Curitiba, vol. 5, n.º 5, p. 76-85, fev. – jun. 1996.

10.0. ANEXOS

10.1. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS (ST), FIXOS (STF) E VOLÁTEIS (STV) EM AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19ª edição).

A) Descrição do Método (Por Volume)

- 1 - Calcinar a cápsula de porcelana (numerada) limpa na mufla 550 °C por uma hora.
- 2 - Esfriar a capsula em dessecador por 45 minutos.
- 3 - Determinar o peso da cápsula (P₁) em balança analítica, anotando em planilha específica.
- 4 - Tomar 100 mL (ou outra alíquota) da amostra (bem homogeneizada) de lodo em proveta, transferir para uma capsula de peso já conhecido, lavando várias vezes a proveta com pequenas porções de água destilada adicionando a capsula.
- 5 - Levar a capsula para o banho-maria até completa secagem e depois colocar em estufa a 105 °C por uma noite ou no mínimo de 4 horas.
- 6 - Retirar da estufa, esfriar em dessecador por 30 minutos e pesar, anotando o peso (P₂) na planilha específica.
- 7 - Colocar a cápsula da determinação de sólidos totais a 105°C na mufla.
- 8 - Ligar mantendo a porta entre aberta para proporcionar adequada aeração.
- 9 - A amostra deve ser aquecida lentamente de 100 em 100°C para ser queimada sem inflamar, pois, se formar labareda poderá ocorrer perda de material.
- 10 - Fechar a porta a 300°C e alcançar a temperatura de 550°C, mantendo essa temperatura por uma hora ou até eliminar todo o resíduo preto.
- 11 - Retirar da mufla, esfriar em dessecador por 45 minutos.
- 12 - Pesar em balança analítica e anotar o peso encontrado (P₃) na planilha específica.

B) Cálculo

1 - Para calcular o teor de sólido totais da amostra, utiliza-se a seguinte expressão:

Resíduo seco a 105°C (R_{S1}) = P₂ - P₁ = (g de amostra)

$$\text{ST: Sólidos totais a } 105^{\circ}\text{C (g/L)} = \frac{P_2 - P_1 \times 1000}{V_{\text{amostra}}} = \frac{R_{S1} \times 1000}{100} = R_{S1} \times 10$$

onde:

P_1 = peso da cápsula vazia (g)
 P_2 = cápsula + resíduo seco (g)
 R_{S1} = resíduo seco a 105°C (g)
1000 = transformação para litro

2 - Para se calcular os sólidos totais fixos da amostra, utilizar a seguinte expressão:

Resíduo seco a 550 °C (R_{S2}) = $P_3 - P_1$

STF: Sólidos totais fixos a 550°C (g/L) = $\frac{P_3 - P_1 \times 1000}{100} = R_{S2} \times 10$

Ou

STF: Sólidos totais fixos a 550°C (% de ST) = $\frac{P_3 - P_1 \times 100}{\text{resíduo seco a } 105^\circ C}$

onde:

P_1 = peso da cápsula vazia (g)
 P_3 = cápsula + resíduo seco a 550 °C (g)
 R_{S1} = resíduo seco a 105°C (g)
 R_{S2} = resíduo seco a 550 °C (g)

3 - Para se calcular o sólidos totais voláteis da amostra, utilizar a seguinte expressão:

matéria volátil a 550 °C = $P_3 - P_2$

STV: Sólidos totais voláteis (mg/L) = $\frac{P_3 - P_2 \times 1000}{100} = (P_3 - P_2) \times 10$

Ou

STV: Sólidos totais voláteis (% de ST) = $\frac{P_3 - P_2 \times 100}{\text{resíduo seco a } 105^\circ C}$

onde:

P_2 = cápsula + resíduo seco a 105°C
 P_3 = cápsula + resíduo seco a 550 °C
 R_{S1} = resíduo seco a 105°C (g)

10.2. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT) E SUSPENSOS TOTAIS (SST), FIXOS (SDF e SSF) E VOLÁTEIS (SDV e SSV) (UFPB, Campina Grande, com uso de centrifuga).

A) Descrição do Método (Por Volume)

- 1 - Idêntico aos itens de 1 a 3 dos sólidos totais (*por volume*).
- 2 - Tomar 100 mL (ou outra alíquota) da amostra (bem homogeneizada) de lodo em proveta, transferir para um tubo de centrifuga, lavando várias vezes a proveta com pequenas porções de água destilada adicionando ao tubo.
- 3 - Centrifugar o material a 4000 rpm por 15 minutos.
- 4 – Determinar os **SDT**: Após a centrifugação, adicionar o sobrenadante do tubo em uma capsula de peso já conhecido.
- 5 – Determinar os **SST**: Remover o lodo sedimentado do tubo com o auxílio de uma espátula, adicionando em outra cápsula de peso já conhecido, lavando várias vezes o tubo com pequenas porções de água destilada adicionando a cápsula.
- 6 - Levar a capsula dos **SST** para estufa a 105 °C por uma noite ou no mínimo de 4 horas.
- 7 - Idêntico aos itens de 5 a 12 dos sólidos totais.

B) Cálculo

Idêntico ao item b dos sólidos totais (*por volume*).

Obs: verificar se os resultados obtidos, a soma do sólido dissolvido total e do sólido suspenso total é igual ao do sólidos total; bem como se a soma das frações fixas e voláteis são iguais as frações totais.

10.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS (ST), FIXOS (STF) E VOLÁTEIS (STV) EM AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19ª edição)

A) Descrição do Método (Em Peso)

- 1 - Idêntico aos itens de 1 a 3 dos sólidos totais (*por volume*).
- 2 - Tomar uma alíquota da amostra (bem homogeneizada) de lodo em proveta, transferir aproximadamente 30g da amostra para uma capsula de peso já conhecido e anotar a massa transferida em planilha específica. Esse peso corresponde a (P_2).

3 - Levar a capsula para o banho-maria até completa secagem e depois colocar em estufa a 105 °C por uma noite ou no mínimo de 4 horas.

4 - Retirar da estufa, esfriar em dessecador por 30 minutos e pesar, anotando o peso (P₃).

5 - Colocar na mufla a cápsula da determinação de sólidos totais (*em peso*). Ligar a mufla aquecendo lentamente de 100 em 100°C até alcançar a temperatura de 550°C, manter essa temperatura por uma hora.

6 - Retirar da mufla, esfriar em dessecador por 45 minutos.

7 - Pesar em balança analítica e anotar o peso encontrado (P₄).

B) Cálculo

Para calcular a sólidos totais a 105°C da amostra, utiliza-se a seguinte expressão:

Resíduo seco a 105°C (R_{S1}) = P₃ - P₁

ST: sólidos totais a 105°C (% de massa úmida) = $\frac{(P_3 - P_1) \times 100}{P_2}$

Ou

ST: Sólidos totais a 105°C (g/L) = ST (% de MU) x 10

Ex: 1% = 1g /100 g da amostra (ou 100 mL, se considerarmos a densidade do lodo igual a 1 g/mL), então precisamos multiplicar por 10 para termos em g/L.

onde:

P₁ = peso da cápsula vazia (g)

P₂ = massa da amostra úmida

P₃ = cápsula + resíduo seco a 105°C

R_{S1} = resíduo seco a 105°C

2 - Para se calcular os sólidos totais fixos da amostra, utilizar a seguinte expressão:

Resíduo seco a 550 °C (R_{S2}) = P₄ - P₁

Sólidos totais fixos a 550°C (% de massa úmida) = $\frac{(P_4 - P_1) \times 100}{P_2}$

Ou

STF: Sólidos totais fixos a 550°C (g/L) = STF (% de MU) x 10

Ou

$$\text{STF: Sólidos totais fixos a } 550^{\circ}\text{C (\% de sólidos totais)} = \frac{(P_4 - P_1) \times 100}{\text{resíduo seco a } 105^{\circ}\text{C}}$$

onde:

P_1 = peso da cápsula vazia (g)

P_2 = massa da amostra úmida

P_4 = cápsula + resíduo seco a 550°C

R_{S1} = resíduo seco a 105°C

R_{S2} = resíduo seco a 550°C

3 - Para se calcular o sólidos totais voláteis da amostra, utilizar a seguinte expressão:

matéria volátil a $550^{\circ}\text{C} = P_4 - P_3$

$$\text{Sólidos totais voláteis a } 550^{\circ}\text{C (\% de massa úmida)} = \frac{(P_4 - P_3) \times 100}{P_2}$$

Ou

STV: Sólidos totais voláteis (g/L) = STV (% de MU) x 10

Ou

$$\text{STV: Sólidos totais voláteis (\% de ST)} = \frac{(P_4 - P_3) \times 100}{\text{resíduo seco a } 105^{\circ}\text{C}}$$

onde:

P_3 = cápsula + resíduo seco a 105°C

P_4 = cápsula + resíduo seco a 550°C

R_{S1} = resíduo seco a 105°C

10.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST), FIXOS (SSF) E VOLÁTEIS (SSV) (com uso de centrífuga).

a) Descrição do Método (em peso)

1- Idêntico aos itens de 1 a 3 dos sólidos totais (em volume).

2- Adicionando ao tubo da centrífuga uma alíquota da amostra (bem homogeneizada) de lodo.

3 - Centrifugar o material a 3000 rpm por 15 minutos.

4 – Determinar os **SST**: Após a centrifugação, desprezar o sobrenadante do tubo e remover o lodo sedimentado do tubo com o auxílio de uma espátula, adicionando em uma cápsula de peso já conhecido e anotar a massa transferida. Esse peso corresponde a (P_2).

5- Levar a capsula dos **SST** para estufa a 105 °C por uma noite ou no mínimo de 4 horas.

6- Idêntico aos itens de 4 a 7 dos sólidos totais (*em peso*).

B) Cálculo

Idêntico ao item b dos sólidos totais (*em peso*).

10.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE METAIS EM AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO (adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19ª edição)

A) Descrição do Método

a.1- Preparação das amostra

1- No momento da coleta acidificar a amostra de lodo com ácido nítrico concentrado até $\text{pH} < 2$;

2- Secar as amostras de lodo de esgoto em estufa a 105 °C por no mínimo uma noite. Triturar em almofariz de ágata ou porcelana e armazenar em frasco de vidro ou plástico.

3- Pesar 0,5 a 1,0 g da amostra de lodo em cadinho ou capsula pequena de porcelana utilizando balança analítica.

4- Calcinar na mufla elétrica, aumentando gradualmente a temperatura até 550 °C, manter por três horas e desligar.

5 - Retirar da mufla, esfriar em dessecador.

a.2- Extração de metais do lodo de esgoto

1 - Levar ao ataque ácido as amostras de lodo depois da calcinação a 550 °C, adicionando 5 mL de ácido nítrico concentrado em banho maria.

2 - Aquecer sem deixar ferver e permanecer com a capela fechada até cessar o desprendimento do vapor castanho de NO_2 . Evaporar até quase a secura.

- 3 – Esfriar e repetir os itens 1 e 2 três vezes.
- 4 - Esfriar e adicionar 10 mL de ácido nítrico e 10 mL de ácido perclórico, para mineralizar todo o material.
- 5 - Aquecer novamente e permanecer com a capela fechada até cessar o desprendimento de vapor branco denso de ácido perclórico (tempo da digestão é de cerca de 1-2 horas).
- 6 - Evaporar até que fique incolor, se a solução não estiver límpida, repetir as adições de 10 mL de ácido nítrico conc. e os aquecimentos leves até completar a digestão da matéria orgânica, o que é indicado pela formação de uma solução límpida, ligeiramente colorida.
- 7 - Esfriar, adicionar em seguida uma pequena quantidade de ácido nítrico, aquecendo se for necessário.
- 8 - Esfriar, filtrar em papel Whatman quantitativo n^o40 recebendo a solução quantitativamente em balão volumétrico de 100 mL. o filtrado em balão volumétrico de 100 mL. Lavar o cadinho com água (deionizada isenta de metais) e adicionar as lavagens ao balão. Lavar o papel de filtro várias vezes com água e completar o volume do balão até a marca (aféri-lo).

Foram feitas algumas adaptações quanto ao tempo, temperatura e quantidade de ácido adicionado nas amostras de lodo.

a.3 – Calibração do ICP-AES

- 1 – Ajustar o equipamento ICP-AES conforme o manual. Calibrar o equipamento com uma curva de soluções padrões de multi elementos nas concentrações de 0,0; 2,0 e 4,0 mgL⁻¹ (branco; padrão médio e alto, respectivamente) preparadas em meio ácido.

a.4 – Determinação da concentração dos metais

- 1 – As concentrações dos metais pesados e tóxicos, e dos micro e macronutrientes serão mensurados, por espectrofotômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES).
- 2 – Efetuar a leitura dos metais dissolvidos na solução diretamente no ICP-AES.
- 3 - A amostra é aspirada na tocha de argônio à 9.000 – 10.000 K perdendo eletrons, formando plasmas. Durante a perda de energia do estado plasma para o fundamental, cada

elemento químico emite luzes de comprimento de ondas definidas. A quantidade de luz emitida é proporcional a concentração deste elemento na solução. O sinal emitido é captado por detector, registrador e transformado para concentração com auxílio de programas de computador. O espectrômetro de emissão atômica pode determinar simultaneamente mais de 40 elementos.

4 - Os resultados serão expressos em mg de metal/kg de lodo seco .

B) Cálculo

Para calcular o teor de metais da amostra de lodo, utiliza -se a seguinte expressão:

$$\text{Metal (mg do elemento/kg de lodo seco)} = \frac{\text{Reitura do elemento no ICP 4 AES /mg/L}}{\text{massa da amostra de lodo seco /g}} \times 100 \Delta f_d$$

10.6. DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGENÉTICA ESPECÍFICA DO LODO (testes estáticos)

A) Descrição do Método

1- Elutriar (eliminar os sólidos finos passando o lodo em uma peneira de cozinha, lavando algumas vezes com água da torneira e secar com papel toalha a parte externa da peneira), peneirar ou centrifugar o lodo.

2- Determinar a quantidade de sólidos voláteis (gSVT/L) presentes no lodo.

3 - Calcular a concentração do lodo anaeróbio a ser adicionado na mistura (lodo + solução nutriente + substrato).

Ex: Considerando o teor de STV = 43,6 g/L do lodo, e para obtermos a concentração de 0,25 gSTV/L de lodo , no reator de 500 g, pesa-se:

$$M_{\text{lodo}} = \frac{M_{\text{total}} \times \text{Conc. mistura}}{\text{Conc. lodo}} = \frac{500 \text{ g} \times 0,25 \text{ gSTV/L}}{43,6 \text{ gSTV/L}} = 2,9 \text{ g}$$

4 - Determinar o volume de substrato a ser adicionado em cada reator, a fim de se obter a concentração final da mistura.

Ex: Utilizando a solução de 100 gDQO/L de acetato de sódio, para se obter uma concentração 1,0 gDQO/L , pesa-se:

$$M_{\text{subs.}} = \frac{\text{Conc. mistura } \Delta M_{\text{MIST}}}{\text{Conc. DQO solução}} = \frac{1,0 \text{ gDQO/L } \Delta 500 \text{ g}}{100 \text{ gDQO/L}} = 5 \text{ g}$$

5 - Calcular a massa da solução (nutrientes + acetato) para o número total de reatores.

Ex: Para o teste com 4 reatores, com as concentrações de 1 g DQO/L de acetato, deve-se preparar cerca de 2500kg, então, pesa-se:

25 g da solução de acetato de sódio de 100 mgDQO/L

500 g da solução nutrientes

1975 g de água deionizada.

6 - Para que os erros de análises sejam minimizados, deve-se misturar a solução de nutrientes à de acetato de sódio, de forma a se obter uma solução a ser usada em todos os reatores. Assim como, deve-se preparar cerca de 20% a mais da solução.

7 - Na sala climatizada à temperatura ambiente (30 ± 2°C), adicionar aos reatores de 600 mL as quantidades pré-estabelecidas de lodo e solução (nutrientes + substrato) nas concentrações desejadas. Tampar o reator.

Ex: Para se obter em cada reator uma concentração de 0,25 g STV/L do lodo com o teor de STV = 43,6 g/L e de 1,0 gDQO/L de acetato, pesa-se:

$$M_{\text{MISTURA}} = M_{\text{lodo}} + M_{\text{solução}}$$

$$M_{\text{solução}} = 500 \text{ g da mistura} - 2,9 \text{ g de lodo} = 497,1 \text{ g de solução (acetato de sódio + nutrientes)}$$

8 - Adicionar 1000 mL da solução de NaOH a 3% à garrafa para absorver o gás carbônico presente no biogás. Tampar a garrafa com a septa de borracha, a qual permite a introdução de duas agulhas: uma para a entrada de gases proveniente da garrafa-reator e outra para saída da solução de NaOH. Fixar a garrafa com braçadeiras de cabeça-para-baixo

9 - Colocar em baixo da garrafa com solução alcalina, um recipiente plástico de 1000 mL com um funil, para receber a solução alcalina que será equivalente em volume aos gases que entraram.

10 - Conectar o sistema – reator e a garrafa contendo solução alcalina. Aguardar, cerca de 15 min, para ser atingindo o equilíbrio da pressão e fazer a primeira pesagem do recipiente que recebe a solução alcalina (P₀).

11 - Determinar a concentração de metano no biogás por gravimetria, pesando o recipiente que recebe a solução alcalina. Nos três primeiros dias do experimento, pesou-se 4 vezes ao dia, depois somente 2 vezes.

12 - Calcular a atividade metanogênica específica a partir da inclinação da reta obtida no gráfico da produção de metano.

13 - Ao se observar um declínio na produção de metano, deve-se fazer a segunda alimentação de acetato de sódio. A mesma será feita da seguinte maneira: para a concentração de 1 g DQO/L, adiciona-se 5 ml da solução de 100g/L de acetato de sódio em cada reator .

11.0. APÊNDICE

Tabela 11.1 - Resultados das características físico-químicas da Fase Líquida das ETAs.

Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica σS/cm	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)
Água Bruta	18/05/2000	6,64	260		
	01/09/2000	6,9	224	360,17	52,29
Água Decantada na 1ª fase	01/09/2000	5,84	239	198,25	62,63
Água Decantada na 2ª fase	01/09/2000	5,37	247	295,75	57,07
Água Tratada	18/05/2000	5,85	317		
	01/09/2000	4,33	261	210,25	61,91
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica σS/cm	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)
Água Bruta	02/09/2000	6,46	55,9	109,60	56,09
Água Tratada	02/09/2000	4,06	108,2	90,40	68,65
bairro Pontes dos Carvalhos					
Água Tratada	02/09/2000	4,01	107,2	72,8	59,37
Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sódio (mg de Na/L)	Ferro (mg de Fe/L)	Cálcio (mg de Ca/L)
Água Bruta	18/05/2000			4,22	14,09
	01/09/2000	47,71	31,70	3,33	12,01
Água Decantada na 1ª fase	01/09/2000	37,37	26,81	0,41	6,35
Água Decantada na 2ª fase	01/09/2000	42,93	30,32	0,38	6,18
Água Tratada	18/05/2000		28,67	1,81	9,7
	01/09/2000	38,09	28,07	0,33	6,58
bairro do Cordeiro					
Amostra	Data	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sódio (mg de Na/L)	Ferro (mg de Fe/L)	Cálcio (mg de Ca/L)
Água Tratada	18/05/2000		26,34	0,45	7,79
Universidade Federal de Pernambuco					
Amostra	Data	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sódio (mg de Na/L)	Ferro (mg de Fe/L)	Cálcio (mg de Ca/L)
Água Bruta (Poço)	18/05/2000		22,8	3,9	17,6
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sódio (mg de Na/L)	Ferro (mg de Fe/L)	Cálcio (mg de Ca/L)
Água Bruta	02/09/2000	43,91	11,34	2,94	9,1
Água Tratada	02/09/2000	31,35	6,38	0,06	1,71
bairro Pontes dos Carvalhos					
Água Tratada	02/09/2000	40,63	6,11	1,09	1,71
Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)	Alumínio (mg de Al/L)	Manganês (mg de Mn/L)
Água Bruta	18/05/2000	6,45	N.D.	2,31	0,41
	01/09/2000	6,12	2,47	4,46	0,15
Água Decantada na 1ª fase	01/09/2000	3,65	5,3	0,86	0,25
Água Decantada na 2ª fase	01/09/2000	4,13	4,72	0,91	0,33
Água Tratada	18/05/2000	5,11	4,16	0,31	0,44
	01/09/2000	3,81	4,92	0,74	0,34
bairro do Cordeiro					
Amostra	Data	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)	Alumínio (mg de Al/L)	Manganês (mg de Mn/L)
Água Tratada	18/05/2000	4,5	4,96	1,61	0,50
Universidade Federal de Pernambuco					
Amostra	Data	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)	Alumínio (mg de Al/L)	Manganês (mg de Mn/L)
Água Bruta (Poço)	18/05/2000	10,4	1,4	5,5	0,1

N.D. - não detectado pelo método analítico (0,05 mg/L de cada metal).

Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)	Zinco (mg de Zn/L)	Cromo (mg de Cr/L)
Água Bruta	18/05/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	01/09/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Água Decantada na 1ª fase	01/09/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Água Decantada na 2ª fase	01/09/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Água Tratada	18/05/2000				
	01/09/2000		N.D.	N.D.	N.D.
bairro do Cordeiro					
Amostra	Data	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)	Zinco (mg de Zn/L)	Cromo (mg de Cr/L)
Água Tratada	18/05/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)	Zinco (mg de Zn/L)	Cromo (mg de Cr/L)
Água Bruta	02/09/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Água Tratada	02/09/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
bairro Pontes dos Carvalhos					
Água Tratada	02/09/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)	Alumínio (mg de Al/L)	Manganês (mg de Mn/L)
Água Bruta	02/09/2000	4,13	5,67	1,96	N.D.
Água Tratada	02/09/2000	1,72	5,59	0,43	N.D.
bairro Pontes dos Carvalhos					
Água Tratada	02/09/2000	1,64	6,3	0,72	N.D.
Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	Chumbo (mg de Pb/L)			
Água Bruta	18/05/2000	N.D.			
	01/09/2000	N.D.			
Água Decantada na 1ª fase	01/09/2000	N.D.			
Água Decantada na 2ª fase	01/09/2000	N.D.			
Água Tratada	18/05/2000				
	01/09/2000	N.D.			
bairro do Cordeiro					
Amostra	Data	Chumbo (mg de Pb/L)			
Água Tratada	18/05/2000	N.D.			
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Chumbo (mg de Pb/L)			
Água Bruta	02/09/2000	N.D.			
Água Tratada	02/09/2000	N.D.			
bairro Pontes dos Carvalhos					
Água Tratada	02/09/2000	N.D.			

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Tabela 11.2 - Resultados das características físico-químicas da Fase Sólida das ETAs.

Estação de Tratamento de Água Presidente Castello Branco					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica σS/cm)	midade a 65 °C (% de Massa úmida)	midade a 105 °C (% de Massa úmida)
Lodo do Decantador	18/05/2000	5,85	171	90,82	91,22
	05/09/2000	6,71	1321	88,24	88,39
Lodo do Filtro	18/05/2000	7,26	304	99,9	99,9
	05/09/2000	6,39	248	99,78	99,79
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica σS/cm)	midade a 65 °C (% de Massa úmida)	midade a 105 °C (% de Massa úmida)
Lodo do Decantador	23/05/2000	4,11	616	95,41	95,48
	01/09/2000	4,94	182,5	97,2	97,22
Lodo do Filtro	26/05/2000	4,7	136,3	99,27	99,77
	01/09/2000	5,87	62,3	99,92	99,92
Estação de Tratamento de Água Suape					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica σS/cm)	midade a 65 °C (% de Massa úmida)	midade a 105 °C (% de Massa úmida)
Lodo do Decantador	26/05/2000	6,22	626	93,28	93,43
Estação de Tratamento de Água Presidente Castello Branco					
Amostra	Data	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Sólidos Suspensos Totais (g/L)
Lodo do Decantador	18/05/2000	8,78	70,6	29,4	
	05/09/2000	11,61	77,34	22,66	125,25
Lodo do Filtro	18/05/2000	0,1	69,80	30,20	
	05/09/2000	0,21	66,81	33,19	2,11
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Sólidos Suspensos Totais (g/L)
Lodo do Decantador	23/05/2000	4,52	77,91	22,09	
	01/09/2000	2,78	81,14	18,86	27,45
Lodo do Filtro	26/05/2000	0,23	71,08	28,92	
	01/09/2000	0,08	68,5	31,5	0,78
Estação de Tratamento de Água Suape					
Amostra	Data	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Sódio (g de Na/kg de MS)
Lodo do Decantador	26/05/2000	6,57	74,69	25,31	0,70
Estação de Tratamento de Água Presidente Castello Branco					
Amostra	Data	Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sódio (g de Na/kg de MS)	Ferro (g de Fe/kg de MS)
Lodo do Decantador	18/05/2000			1,47	41,16
	05/09/2000	80,21	19,79	1,13	64,54
Lodo do Filtro	18/05/2000			22,43	32,44
	05/09/2000	70,11	29,89	5,19	44,75
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sódio (g de Na/kg de MS)	Ferro (g de Fe/kg de MS)
Lodo do Decantador	23/05/2000			1,33	55
	01/09/2000	79,68	20,32	1,08	36,03
Lodo do Filtro	26/05/2000			0,41	45,8
	01/09/2000	70,27	29,73	5,67	42,85
Estação de Tratamento de Água Suape					
Amostra	Data	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)
Lodo do Decantador	26/05/2000	6,52	1,98	0,86	0,24

Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)	Alumínio (g de Al/kg de MS)
Lodo do Decantador	18/05/2000	2,36	0,94	0,14	56,1
	05/09/2000	2,01	1,07	0,18	128,03
Lodo do Filtro	18/05/2000	9,35	6,34	0,07	52,91
	05/09/2000	5,81	3,61	0,32	120,78
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)	Alumínio (g de Al/kg de MS)
Lodo do Decantador	23/05/2000	1,44	0,86	0,19	110,4
	01/09/2000	2,19	1,12	0,19	84,3
Lodo do Filtro	26/05/2000	3,26	3,34	0,22	107,6
	01/09/2000	8,06	3,81	0,14	57,81
Estação de Tratamento de Água Suape					
Amostra	Data	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)
Lodo do Decantador	26/05/2000	39,58	0,17		18
Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)	Zinco (mg de Zn/kg de MS)
Lodo do Decantador	18/05/2000	0,16		10	12
	05/09/2000	7,76		11,28	86,85
Lodo do Filtro	18/05/2000	0,13		N.D.	39,24
	05/09/2000	0,34		35,09	27,97
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)	Zinco (mg de Zn/kg de MS)
Lodo do Decantador	23/05/2000	0,04		12	18
	01/09/2000	0,09	N.D.	8	15,38
Lodo do Filtro	26/05/2000	0,05		30	24
	01/09/2000	0,23	N.D.	N.D.	N.D.
Estação de Tratamento de Água Suape					
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)	Cromo (mg de Cr/kg de MS)		
Lodo do Decantador	26/05/2000	16	68		
Estação de Tratamento de Água Presidente Castelo Branco					
Amostra	Data	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	Potássio (g de K/l/kg de MS)	
Lodo do Decantador	18/05/2000	74			
	05/09/2000	74,8		2,15	
Lodo do Filtro	18/05/2000	N.D.			
	05/09/2000	105,01		3,46	
Estação de Tratamento de Água Gurjau					
Amostra	Data	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	Potássio (g de K/l/kg de MS)	
Lodo do Decantador	23/05/2000	56			
	01/09/2000	44,54	N.D.	1,38	
Lodo do Filtro	26/05/2000	68			
	01/09/2000	N.D.	N.D.	2,42	

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Tabela 11.3 - Resultados das características físico-químicas da Fase Líquida das ETES

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica (σ S/cm)	Demanda Química de Oxigênio (mg de O ₂ /L)	Sólidos Totais (mg/L)
Afluente	29/06/2000	7,36	676	203,24	600,5
	07/08/2000	6,83	388	135,17	403
Efluente do reator	06/09/2000	7,3	547	151,16	436
Efluente da Lagoa de Polimento	29/06/2000	8,11	830	113,66	628,5
	09/08/2000	7,62	669	71,22	395
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica (σ S/cm)	Demanda Química de Oxigênio (mg de O ₂ /L)	Sólidos Totais (mg/L)
Afluente	29/06/2000	7,3	348	250,28	587,00
Efluente	29/06/2000	7,45	851	151,30	266,00
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica (σ S/cm)	Demanda Química de Oxigênio (mg de O ₂ /L)	Sólidos Totais (mg/L)
Afluente	29/06/2000	6,33	466	619,12	555
	07/08/2000	6,16	379	496,05	336
	24/08/2000	6,83	183,4	96,35	241
	19/09/2000			596,91	462
Efluente	29/06/2000	6,81	246	179,90	
	07/08/2000	7,05	372	258,94	330
	24/08/2000	6,76	408	210,76	344
	19/09/2000			394,43	505
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro do Cabanga					
Amostra	Data	pH	Condutividade Elétrica (σ S/cm)	Alcalinidade Total (mg de CaCO ₃ /L)	Demanda Química de Oxigênio (mg de O ₂ /L)
Afluente	14/06/2000	6,8	894	195,18	103,58
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Sódio (mg de Na/L)	Ferro (mg de Fe/L)
Afluente	08/05/2000			1,44	0,07
	29/06/2000	74,59	25,41	88,57	2,10
	07/08/2000	77,20	22,8	32,04	2,99
	06/09/2000			104,66	3
Efluente do reator	09/08/2000			65,94	3,73
	06/09/2000	72,15	27,85	93,66	3,15
Efluente da Lagoa de Polimento	29/06/2000	77,60	22,40	103,6	0,53
	09/08/2000	75,82	24,18	86,96	1,66
	06/09/2000			99,32	0,77
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Sódio (mg de Na/L)	Ferro (mg de Fe/L)
Afluente	29/06/2000	73,34	26,66	29,42	6,69
Efluente	29/06/2000	66,50	33,50	81,65	2,09
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Sódio (mg de Na/L)	Ferro (mg de Fe/L)
Afluente	29/06/2000	44,86	55,14	63,47	1,10
	07/08/2000	30,36	69,64	31,76	2,76
	24/08/2000	51,28	48,72	30,88	0,95
	19/09/2000	35,28	64,72	77,26	2,57
Efluente	29/06/2000			32,81	0,68
	07/08/2000	40,30	59,70	42,02	1,44
	24/08/2000	52,19	47,81	45,2	0,92
	19/09/2000	35,84	64,16	41,32	1,43
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro do Cabanga					
Amostra	Data	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sódio (mg de Na/L)
Afluente	14/06/2000	552,50	85,21	14,79	116,78

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Cálcio (mg de Ca/L)	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)	Alumínio (mg de Al/L)
Afluente	08/05/2000	0,89	0,1	N.D.	0,12
	29/06/2000	38,56	7,92	7,06	1,84
	07/08/2000	28,5	6,25	3,90	3,44
	06/09/2000	34,36	11,86	7,79	2,66
Efluente do Reator	09/08/2000	33,42	8,29	0,28	3,35
	06/09/2000	47,68	12,08	7,99	3,23
Efluente da Lagoa de Polimento	29/06/2000	54,27	N.D.	6,48	0,32
	09/08/2000	52,82	10,09	4,65	1,68
	06/09/2000	50,38	11,46	6,4	1,09

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Cálcio (mg de Ca/L)	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)	Alumínio (mg de Al/L)
Afluente	29/06/2000	40,58	5,50	3,56	12,23
Efluente	29/06/2000	45,03	6,51	5,77	1,81

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Cálcio (mg de Ca/L)	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)	Alumínio (mg de Al/L)
Afluente	29/06/2000	12,23	3,27	2,91	0,90
	07/08/2000	17,39	4,81	2,60	3,49
	24/08/2000	12,34	3,55	3,19	1,28
	19/09/2000	12,78	4,56	3,88	5,42
Efluente	29/06/2000	9,06	2,87	2,64	0,61
	07/08/2000	16,92	4,14	0,11	1,71
	24/08/2000	13,06	4,46	3,68	1,34
	19/09/2000	12,58	4,47	3,76	2,20

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro do Cabanga					
Amostra	Data	Ferro (mg de Fe/L)	Cálcio (mg de Ca/L)	Magnésio (mg de Mg/L)	Silício (mg de Si/L)
Afluente	14/06/2000	1,38	50,92	9,87	0,37

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Manganês (mg de Mn/L)	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)	Zinco (mg de Zn/L)
Afluente	05/08/2000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	29/06/2000	0,49	0,49	N.D.	N.D.
	07/08/2000	0,10	0,10	N.D.	N.D.
	06/09/2000	0,71	0,71	N.D.	N.D.
Efluente do reator	09/08/2000	0,14	N.D.	N.D.	N.D.
	06/09/2000	0,73	N.D.	N.D.	N.D.
Efluente da Lagoa de Polimento	29/06/2000	0,49	N.D.	N.D.	N.D.
	09/08/2000	0,17	N.D.	N.D.	N.D.
	06/09/2000	0,68	N.D.	N.D.	N.D.

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Manganês (mg de Mn/L)	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)	Zinco (mg de Zn/L)
Afluente	29/06/2000	0,38	N.D.	0,05	0,06
Efluente	29/06/2000	0,51	N.D.	N.D.	N.D.

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Manganês (mg de Mn/L)	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)	Zinco (mg de Zn/L)
Afluente	29/06/2000	N.D.	N.D.	0,25	N.D.
	07/08/2000	N.D.	N.D.	0,47	N.D.
	24/08/2000	N.D.	N.D.	0,18	N.D.
	19/09/2000	N.D.	N.D.	0,70	N.D.

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Manganês (mg de Mn/L)	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)	Zinco (mg de Zn/L)
Efluente	29/06/2000	N.D.	N.D.	0,15	N.D.
	07/08/2000	N.D.	N.D.	0,74	0,10
	24/08/2000	N.D.	N.D.	0,32	N.D.
	19/09/2000	0,49	N.D.	0,65	N.D.
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro do Cabanga					
Amostra	Data	Alumínio (mg de Al/L)	Manganês (mg de Mn/L)	Níquel (mg de Ni/L)	Cobre (mg de Cu/L)
Afluente	14/06/2000	1,49	N.D.	N.D.	N.D.
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangureira					
Amostra	Data	Cromo (mg de Cr/L)	Chumbo (mg de Pb/L)		
Afluente	05/08/2000	N.D.	N.D.		
	29/06/2000	N.D.	N.D.		
	07/08/2000	N.D.	N.D.		
	06/09/2000	N.D.	N.D.		
Efluente do reator	09/08/2000	N.D.	N.D.		
	06/09/2000	N.D.	N.D.		
Efluente da Lagoa de Polimento	29/06/2000	N.D.			
	09/08/2000	N.D.			
	06/09/2000	N.D.	0,41		
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Cromo (mg de Cr/L)	Chumbo (mg de Pb/L)		
Afluente	29/06/2000	N.D.	N.D.		
Efluente	29/06/2000	N.D.	N.D.		
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Cromo (mg de Cr/L)	Chumbo (mg de Pb/L)		
Afluente	29/06/2000	N.D.	N.D.		
	07/08/2000	N.D.	N.D.		
	24/08/2000	N.D.	N.D.		
	19/09/2000	N.D.	N.D.		
Efluente	29/06/2000	N.D.	N.D.		
	07/08/2000	N.D.			
	24/08/2000	N.D.			
	19/09/2000	N.D.			
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro do Cabanga					
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/L)	Cromo (mg de Cr/L)	Chumbo (mg de Pb/L)	
Afluente	14/06/2000	N.D.	N.D.	0,51	

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Tabela 11.4 - Resultados das características físico-químicas da Fase Sólida das ETEs.

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	pH -	Condutividade Elétrica /σS/cm)	Alcalinidade Total (mg de CaCO ₃ /L)	Sulfato (g de S/kg de MS)
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000	8,21	865	481,99	10,24
	29/06/2000	7,31	1914	966,43	8,06
	07/08/2000	6,93	1190	492,77	10,32
	06/09/2000	7,79	1567	710,84	
	12/09/2000	7,28	1797		
	18/12/2000	7,81	5990		
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura, exceto dia 19/12 que foi a 1,0m)	08/05/2000	7,96	1256	523,6	8,87
	05/06/2000	8,23	1573		
	29/06/2000	7,24	1450	668,65	2,80
	07/08/2000	7,02	946	410,24	10,88
	06/09/2000	7,81	2540		
	12/09/2000	7,63	1822		
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000	8,19	1046	417,39	10,93
	29/06/2000	7,34	1361	617,22	9,20
	07/08/2000	6,99	1164	484,34	11,61
	06/09/2000	7,84	1423	654,22	
	13/09/2000	7,33	1344		
	18/12/2000	6,87	2200		
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	08/05/2000	8,39	968	508,08	7,99
	05/06/2000	8,22	1369		
	29/06/2000	7,27	1668	814,84	8,55
	07/08/2000	7,04	918	403,61	11,00
	06/09/2000	7,73	2470		
	13/09/2000	6,77	1359		
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	08/05/2000	8,22	1072	447,83	16,55
	07/08/2000	7,19	864	333,74	23,30
	06/09/2000	6,67	1963	1072,89	
	19/12/2000	7,28	3680		
	08/05/2000	8,29	1085	456,52	5,48
	05/06/2000	8,23	1324		
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	29/06/2000	7,33	1512	682,19	9,31
	07/08/2000	6,89	960	413,86	6,18
	06/09/2000	6,9	2540		
	18/12/2000	7,05	3370		
	07/08/2000	6,91	944	383,13	
	06/09/2000	6,81	1356		
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	18/12/2000	7,27	3710		
	07/08/2000	6,83	966	401,21	
	06/09/2000	6,89	1250		
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi a 0,5m)	03/10/2000	7,29	1254	502,71	
	18/12/2000	7,29	4020		
	08/05/2000	8,02	942	332,92	23,58
Lodo da Lagoa de Polimento	07/08/2000	6,65	1151	420,48	8,52
	06/09/2000	6,92	1412	644,58	
	18/12/2000	6,98	1059		
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	pH -	Condutividade Elétrica /σS/cm)	Alcalinidade Total (mg de CaCO ₃ /L)	Sulfato (g de S/kg de MS)
Lodo da Célula 1	14/06/2000	7,89	6380	3496,91	7,17
	27/07/2000	7,33	4810	2556,16	8,30
Lodo da Célula 2	14/06/2000	7,89	4370	2330,44	6,76
	27/07/2000	7,36	2280	1086,51	2,96
Lodo da Célula 3	27/07/2000	7,41	4950	2632,48	5,94
Lodo da Célula 4	14/06/2000	7,83	3820	1982,62	10,68
	27/07/2000	7,5	5060	2740,59	5,50

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	pH -	Condutividade Elétrica /σS/cm	Alcalinidade Total (mg de CaCO ₃ /L)	Sulfato (g de S/kg de MS)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	31/05/2000	7,34	516		
	29/06/2000	7,31	452	147,59	28,89
	07/08/2000	6,93	408	146,08	31,47
	24/08/2000	7,19	356	98,80	
	19/09/2000	7,86	380		

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira				
Amostra	Data	Fósforo Total (g de P/kg de MS)	Nitrogênio Total (g de N-NTK/kg de MS)	Potássio (g de K/kg de MS)
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000	0,39	19,14	2,72
	29/06/2000	0,45	17,09	2,04
	07/08/2000	0,46	18,56	
	06/09/2000	0,41		
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	08/05/2000	0,37	21,75	3,02
	29/06/2000	0,17	14,77	0,99
	07/08/2000	0,48	22,24	2,06
	06/09/2000	0,30		
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000	0,39	17,40	3,26
	29/06/2000	0,45	16,66	2,30
	07/08/2000	0,47	18,93	2,09
	06/09/2000	0,42		
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	08/05/2000	0,32	16,53	2,52
	29/06/2000	0,43	15,61	1,92
	07/08/2000	0,46	19,40	
	06/09/2000	0,42		
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	08/05/2000	0,56	18,71	4,52
	07/08/2000	0,48	25,24	
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	08/05/2000	0,18	17,84	1,40
	29/06/2000	0,44	17,09	2,30
	07/08/2000	0,47	18,14	
	06/09/2000	0,47		
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	07/08/2000	0,41	18,07	
	06/09/2000	0,49		
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi 0,5m)	07/08/2000	0,37	19,88	
	06/09/2000	0,45		
	03/10/2000			2,73
Lodo da Lagoa de Polimento	08/05/2000	0,78	24,36	3,98
	07/08/2000	0,54	19,41	3,97
	06/09/2000	0,57		

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João				
Amostra	Data	Fósforo Total (g de P/kg de MS)	Nitrogênio Total (g de N-NTK/kg de MS)	Potássio (g de K/kg de MS)
Lodo da Célula 1	14/06/2000	0,55	20,88	5,55
	27/07/2000	0,33	14,56	2,12
Lodo da Célula 2	14/06/2000	0,84	19,58	21,09
	27/07/2000	0,27	12,67	1,87
Lodo da Célula 3	27/07/2000	0,31	15,07	2,09
Lodo da Célula 4	14/06/2000	0,48	21,03	21,19
	27/07/2000	0,39	13,81	1,95

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)				
Amostra	Data	Fósforo Total (g de P/kg de MS)	Nitrogênio Total (g de N-NTK/kg de MS)	Potássio (g de K/kg de MS)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	29/06/2000	0,80	3,80	4,50
	07/08/2000	0,60	66,25	5,29
	24/08/2000		66,25	7,70
	19/09/2000		63,3	12,07

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira				
Amostra	Data	Umidade a 65 °C (% de Massa úmida)	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)	Sólidos Totais (% de Massa úmida)
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000	90,93	91,22	8,78
	05/06/2000		88,73	11,27
	29/06/2000	86,17	86,35	13,65
	07/08/2000	94,7	94,78	5,22
	06/09/2000	84,89	85,1	14,9
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	08/05/2000	91,83	92,25	7,75
	05/06/2000	76,89	87,43	12,57
	29/06/2000	91,83	92,05	7,95
	07/08/2000	90,82	93,22	6,78
	30/08/2000	86,65	87,13	12,87
	06/09/2000	82,92	83,12	16,88
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000	93,49	93,74	6,26
	05/06/2000		99,67	0,33
	29/06/2000	90,12	90,30	9,70
	07/08/2000	93,01	93,28	6,72
	06/09/2000	87,11	87,67	12,33
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	14/02/2000	88,69	89,15	10,85
	08/05/2000	86,62	87,18	12,82
	05/06/2000	89,60	90,07	9,93
	29/06/2000	87,51	87,65	12,35
	07/08/2000	93,65	93,72	6,28
	06/09/2000	87,27	87,42	12,58
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	08/05/2000	89,16	89,39	10,61
	07/08/2000	99,84	99,83	0,17
	06/09/2000	87,63	87,68	12,32
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	14/02/2000	88,67	89,19	10,81
	08/05/2000	87,15	88,21	11,79
	05/06/2000	88,20	88,71	11,29
	29/06/2000	90,61	90,77	9,23
	07/08/2000	93,99	94,12	5,88
	06/09/2000	86,04	86,16	13,84
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	07/08/2000	94,19	94,27	5,73
	06/09/2000	91,65	91,71	8,29
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi 0,5m)	07/08/2000	94,73	94,27	5,73
	06/09/2000	94,62	94,66	5,34
	03/10/2000	89,68	89,84	10,16
Lodo da Lagoa de Polimento	08/05/2000	98,41	98,41	1,55
	07/08/2000	97,63	97,66	2,34
	06/09/2000	93,6	93,61	6,39

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João				
Amostra	Data	Umidade a 65 °C (% de Massa úmida)	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)	Sólidos Totais (% de Massa úmida)
Lodo da Célula 1	14/06/2000	96,84	96,88	3,12
	27/07/2000	81,58	84,50	15,50
Lodo da Célula 2	14/06/2000	99,49	99,51	0,49
	27/07/2000	79,27	80,98	19,02
Lodo da Célula 3	27/07/2000	85,35	86,05	13,95
Lodo da Célula 4	14/06/2000	99,71	99,72	0,28
	27/07/2000	80,59	81,21	18,79

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)				
Amostra	Data	Umidade a 65 °C (% de Massa úmida)	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)	Sólidos Totais (% de Massa úmida)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	31/05/2000	99,92	99,92	0,08
	29/06/2000	99,8	99,8	0,2
	07/08/2000	99,88	99,87	0,13
	24/08/2000	99,81	99,81	0,19
	19/09/2000	99,81	99,83	0,17

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira						
Amostra	Data	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Volume Sedimentado (mL/L)	Sódio (g de Na/kg de MS)	
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000	61,16	38,84	830	2,42	
	05/06/2000	62,96	37,04			
	29/06/2000	64,43	35,57	940	3,47	
	07/08/2000	62,79	37,21	530		
	06/09/2000	67,04	32,96			
	12/09/2000			940		
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	08/05/2000	61,52	38,48	760	3,28	
	05/06/2000	61,31	38,69			
	29/06/2000	61,92	38,08	930	3,06	
	07/08/2000	63,7	36,3	820	1,30	
	30/08/2000	62,74	37,26			
	06/09/2000	66,75	33,25			
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000	63,18	36,82	840	2,45	
	05/06/2000	67,27	32,73			
	29/06/2000	64,90	35,10	860	1,69	
	07/08/2000	65,1	34,9	860	1,52	
	06/09/2000	66,36	33,64			
	13/09/2000			980		
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	14/02/2000	62,38	37,62	900	1,49	
	08/05/2000	64,86	35,14	990	2,46	
	05/06/2000	65,48	34,52			
	29/06/2000	66,35	33,65	920	1,88	
	07/08/2000	66,68	33,32	780		
	06/09/2000	67,7	32,3			
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	13/09/2000			990		
	08/05/2000	64,81	35,19	880	2,12	
	07/08/2000	58,17	41,83			
	06/09/2000	63,68	36,32	910		
	Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	14/02/2000	64,22	35,78	910	2,13
		08/05/2000	65,44	34,56	990	3,21
05/06/2000		65,33	34,67			
29/06/2000		69,29	30,71	850	1,90	
07/08/2000		68,94	31,06	850		
06/09/2000		68,25	31,75			
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	19/09/2000			1000		
	07/08/2000	66,98	33,02	800		
	06/09/2000	66,42	33,58			
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi 0,5m)	19/09/2000			840		
	07/08/2000	66,70	33,30	800		
	06/09/2000	64,33	35,67			
Lodo da Lagoa de Polimento	03/10/2000	67,23	32,77	840	4,26	
	08/05/2000	62,12	37,88	300	3,28	
	07/08/2000	63,19	36,81	380	5,30	
Lodo da Lagoa de Polimento	06/09/2000	64,89	35,11	900		
	Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
	Amostra	Data	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Volume Sedimentado (mL/L)	Sódio (g de Na/kg de MS)
Lodo da Célula 1	14/06/2000	68,12	31,88	450	11,31	
	27/07/2000	69,62	30,38		1,88	
Lodo da Célula 2	14/06/2000	78,60	21,40	40	25,25	
	27/07/2000	69,45	30,55		1,14	
Lodo da Célula 3	27/07/2000	69,78	30,22		1,87	
Lodo da Célula 4	14/06/2000	77,34	22,66	25	36,32	
	27/07/2000	69,54	30,46		1,53	

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de ST)	Volume Sedimentado (mL/L)	Sódio (g de Na/kg de MS)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	31/05/2000	49,44	50,56		56,76
	29/06/2000	34,86	65,14	110	
	07/08/2000	30,15	69,85	40	12,86
	24/08/2000	30,78	69,22	970	14,89
	19/09/2000	30,98	69,02	880	25,04
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000	25,28	22,84	2,46	0,18
	29/06/2000	24,37	22,83	2,36	0,09
	07/08/2000	34,21	29,54	2,59	0,15
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	08/05/2000	25,34	29,38	2,67	0,22
	29/06/2000	34,76	29,9	2,31	0,11
	07/08/2000	34,50	24,74	2,4	0,13
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000	20,28	28,72	2,61	0,18
	29/06/2000	43,93	35,63	2,58	0,1
	07/08/2000	19,12	17,71	2,64	0,09
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	14/02/2000	25,03	30,47	5,96	0,12
	08/05/2000	19,68	27,5	2,52	0,22
	29/06/2000	25,93	23,64	2,41	0,11
	07/08/2000	31,40	27,68	2,68	0,18
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	08/05/2000	16,24	25,16	2,73	0,18
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	14/02/2000	26,40	29,77	5,92	0,27
	08/05/2000	15,64	29,13	2,91	0,23
	29/06/2000	26,39	25,17	2,53	0,1
	07/08/2000	32,15	27,47	2,78	0,17
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	07/08/2000	31,26	28,26	2,56	0,14
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi 0,5m)	07/08/2000	34,21	28,11	2,94	0,36
	03/10/2000	26,83	25,37	2,49	0,11
Lodo da Lagoa de Polimento	08/05/2000	0,22	0,26	2,91	0,26
	07/08/2000	32,89	28,76	2,39	0,1
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)
Lodo da Célula 1	14/06/2000	33,01	16,91	3,13	4,41
	27/07/2000	34,9	15,57	2,07	0,13
Lodo da Célula 2	14/06/2000	21,76	17,58	4,11	6,14
	27/07/2000	29,92	13,1	1,8	0,17
Lodo da Célula 3	27/07/2000	35,53	16,6	2,01	0,18
Lodo da Célula 4	14/06/2000	18,25	21,51	4,62	5,56
	27/07/2000	31,63	14,58	1,93	0,12
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	31/05/2000	3,96	13,64	3,43	14,95
	07/08/2000	5,46	16,81	3,65	1,37
	24/08/2000	5,76	16,69	3,07	1,63
	19/09/2000	5,00	13,82	4,32	0,48
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)
Lodo da Célula 1	14/06/2000	50,86	0,17	N.D.	76,93
	27/07/2000	87,62	0,14	87,92	85,62
Lodo da Célula 2	14/06/2000	39,86	0,13	N.D.	22,29
	27/07/2000	75,24	0,16	6,40	68,26

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)
Lodo da Célula 3	27/07/2000	88,23	0,13	76,14	84,09
Lodo da Célula 4	14/06/2000	25,58	0,15	N.D.	20,34
	27/07/2000	78,55	0,13	80,71	61,77
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	31/05/2000	7,31	0,36	N.D.	1284,95
	07/08/2000	13,47	0,05	N.D.	1732,09
	24/08/2000	20,21	0,07	N.D.	3963,71
	19/09/2000	20,27	0,71	N.D.	2949,59
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000	27,06	0,28		70
	29/06/2000	32,37	0,26		65,24
	07/08/2000	53,5	0,23		77,18
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	08/05/2000	28	0,32		64
	29/06/2000	57,4	0,25		63,79
	07/08/2000	47,21	0,21	68,20	74,77
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000	30,7	0,31		63,93
	29/06/2000	59,98	0,26		72
	07/08/2000	33,66	0,15		44,65
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	14/02/2000	2,54	0,32	33,0	82,09
	08/05/2000	33,55	0,29		71,24
	29/06/2000	33,08	0,27		59,85
	07/08/2000	51,04	0,26		78,06
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	08/05/2000	37,16	0,27		82,72
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	14/02/2000	2,51	0,32	10,81	87,42
	08/05/2000	21,88	0,34		46,48
	29/06/2000	38,76	0,27		69,78
	07/08/2000	54,12	0,26		83,43
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	07/08/2000	53,63	0,23		76,8
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi 0,5m)	07/08/2000	56,31	0,31		86,92
	03/10/2000	51,53	0,23		68,89
Lodo da Lagoa de Polimento	08/05/2000	0,34	0,35		74
	07/08/2000	61,04	0,24		81,07
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Vila São João					
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	
Lodo da Célula 1	14/06/2000	490,22	71,74	N.D.	
	27/07/2000	490,49	99,02	N.D.	
Lodo da Célula 2	14/06/2000	49,15	48,72	N.D.	
	27/07/2000	429,36	76,16	N.D.	
Lodo da Célula 3	27/07/2000	471,56	80,16	N.D.	
Lodo da Célula 4	14/06/2000	45,57	43,18	N.D.	
	27/07/2000	433,86	76,19	N.D.	
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	Sólidos Suspensos Totais (g/L)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	31/05/2000	348,36	N.D.	N.D.	
	07/08/2000	708,67	N.D.	39,97	
	24/08/2000	975	N.D.	64,52	
	19/09/2000	933,24	167,94	47,82	1,46

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/L de cada metal).

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cabo (Hotel Blue Tree Park)					
Amostra	Data	Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Totais)	Índice Volumétrico do Lodo (mL/g)	Índice de Densidade do Lodo (mg/L)
Lodo do Retorno do Tanque de Aeração	19/09/2000	21,18	78,82	602,74	0,17

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira				
Amostra	Data	Sólidos Suspensos Totais (g/L)	Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Totais)
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	06/09/2000	155,95	70,40	29,60
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	07/08/2000	70,77	62,46	37,54
	30/08/2000	126,75	62,25	37,75
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	06/09/2000	134,80	69,08	30,92
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	06/09/2000	131,65	69,47	30,53
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	06/09/2000	107,79	64,82	35,18
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	06/09/2000	147,97	70,17	29,83
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	06/09/2000	85,84	67,06	32,94
Lodo da Célula 8 (dia 06/09 a 1,5m e dia 03/10 a 0,5m de altura)	06/09/2000	52,91	65,20	34,80
	03/10/2000	107,26	66,35	33,65
Lodo da Lagoa de Polimento	06/09/2000	62,36	69,50	30,50

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira						
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	Cádmio (mg de Cd/kg de MS)	Arsênio (mg de As/kg de MS)
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000	446	74			
	29/06/2000	447,63	53			
	07/08/2000	491,4	59,83			
	12/09/2000					
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	08/05/2000	466	76			
	29/06/2000	432,5	52,9			
	07/08/2000	504,43	55,81			
	12/09/2000					
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000	523,9	57,22			
	29/06/2000	484,1	53,44			
	07/08/2000	273,39	42,43			
	12/09/2000					
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	14/02/2000	521,05	68,04	36,0	N.D.	N.D.
	08/05/2000	505,7	56,88			
	29/06/2000	445,23	52,09			
	07/08/2000	488,49	60,97			
	12/09/2000					
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	08/05/2000	587,2	36,8			
	12/09/2000					
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	14/02/2000	515,07	56,49	32,11		
	08/05/2000	551,3	41,1			
	29/06/2000	458,88	53,62			
	07/08/2000	487,89	66,32			
	12/09/2000					
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	07/08/2000	468,48	55,7			
	12/09/2000					
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi 0,5m)	07/08/2000	500,12	83,26			
	12/09/2000					
	03/10/2000	400,18	48,41			
Lodo da Lagoa de Polimento	08/05/2000	470	72			
	07/08/2000	464,26	54,94			
	06/09/2000					

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira						
Amostra	Data	Cobalto	Vanádio	Titânio	Índice Volumétrico do Lodo (mL/g)	Índice de Densidade do Lodo (mg/L)
		(mg de Co/kg de MS)	(mg de V/kg de MS)	(mg de Ti/kg de MS)		
Lodo da Célula 1 (0,5m de altura)	08/05/2000					
	29/06/2000					
	07/08/2000					
	12/09/2000				9,46	10,57
Lodo da Célula 2 (0,5m de altura)	08/05/2000					
	29/06/2000					
	07/08/2000				11,59	8,63
	12/09/2000				7,44	13,43
Lodo da Célula 3 (0,5m de altura)	08/05/2000					
	29/06/2000					
	07/08/2000					
	12/09/2000				7,45	13,41
Lodo da Célula 4 (0,5m de altura)	14/02/2000	N.D.	37,52	92,56		
	08/05/2000					
	29/06/2000					
	07/08/2000					
	12/09/2000				9,55	10,47
Lodo da Célula 5 (0,5m de altura)	08/05/2000					
	12/09/2000				9,69	10,32
Lodo da Célula 6 (0,5m de altura)	14/02/2000	12,4	36,0			
	08/05/2000					
	29/06/2000					
	07/08/2000					
	12/09/2000				9,23	10,83
Lodo da Célula 7 (1,0m de altura)	07/08/2000					
	12/09/2000				6,78	14,74
Lodo da Célula 8 (1,5m de altura, exceto dia 03/10 que foi 0,5m)	07/08/2000					
	12/09/2000				20,26	4,94
	03/10/2000				7,74	12,92
Lodo da Lagoa de Polimento	08/05/2000					
	07/08/2000					
	06/09/2000				14,43	6,93

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Tabela 11.5 - Resultados das características físico-químicas dos lodos de reator UASB em diferentes profundidades.

ETE Mangueira - lodo da célula 1						
pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		6,84	6,77	6,98		7,27
18/12/00		6,81	6,72	7,03		7,72
Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		1677	1545	1723		5740
18/12/00		2170	2000	1960		4660
Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		28,8	28,9	28,7		28,8
18/12/00		32,5	30,1	33,3		33
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	0,76	51,72	104,33	58,63	143,85	99,36
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	9,14	61,70	66,18	62,75	62,56	66,46
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	90,86	38,30	33,82	37,25	37,44	33,54
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00		47,62	101,23	56,51	132,26	98,7
Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00		62,14	64,89	64,06	65,86	68,59
Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00		37,86	35,11	35,94	34,14	31,41

ETE Mangueira - lodo da célula 2						
pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		6,93	6,94	6,97	6,85	
18/12/00		7,27	7,18	7,19	7,15	
Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		1362	1635	1212	2940	
18/12/00		1111	936	926	2890	
Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		27,6	28,1	27,9	28,3	
18/12/00		27,4	27,5	27,4	29,9	
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	0,79	54,48		54,68	128,56	140,60
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	8,24	61,49		62,48	63,61	64,95
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	91,76	38,51		37,52	36,39	35,05
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
06/09/00		66,11		52,00	60,26	174,10
12/09/00		53,14		53,45	124,99	134,34

ETE Mangueira - lodo da célula 2

Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
06/09/00		63,33		62,22	66,57	71,26
12/09/00		65,37		64,17	72,20	67,54
Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
06/09/00		36,67		37,78	33,43	28,74
12/09/00		34,63		35,83	27,80	32,46
Potássio (g de K/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		2,26		2,30		2,06
Sódio (g de Na/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		1,81		1,79		1,30
Ferro (g de Fe/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		33,30		33,54		34,50
Cálcio (g de Ca/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		24,57		26,93		24,74
Magnésio (g de Mg/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		2,42		2,47		2,4
Silício (g de Si/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		0,14		0,13		0,13
Alumínio (g de Al/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		51,07		51,12		47,21
Manganês (g de Mn/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		0,21		0,22		0,21
Níquel (mg de Ni/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		64,15		69,30		68,20
Cobre (mg de Cu/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		74,23		77,34		74,77
Zinco (mg de Zn/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		499,20		509,20		504,43
Cromo (mg de Cr/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		55,61		55,25		55,81
Chumbo (mg de Pb/kg de MS)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
07/08/00		N.D.		N.D.		N.D.

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

ETE Mangueira - lodo da célula 3

pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		6,81	6,8	6,8		
18/12/00		6,81	6,87	6,74		
Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		2530	1351	1486		
18/12/00		1664	1858	1770		

ETE Mangueira - lodo da célula 3

Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		28,6	28,6	28,6		
18/12/00		34,6	33,1	30,6		
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00	0,80	47,05	78,63	43,83		133,84
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00	16,46	55,87	60,29	61,74		69,63
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00	83,54	44,13	39,71	38,26		30,37
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00		38,09	74,13	39,42		131,47
Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00		64,53	67,58	64,40		69,79
Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00		35,47	32,42	35,60		30,21

ETE Mangueira - lodo da célula 4

pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		6,94	7,04	6,88	7,01	
18/12/00		6,91	6,91	6,95	7,28	
Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		1315	1221	2320	3780	
18/12/00		1351	1660	1439	3660	
Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		28,1	28,5	27,8	28,9	
18/12/00		27,9	27,9	27,2	29,2	
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00	0,71	92,13	80,95	117,37	60,06	105,96
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00	14,36	68,74	61,90	72,09	73,04	67,04
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00	85,64	31,26	38,10	27,91	26,96	32,96
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00		90,08	71,67	113,77	57,56	103,69
Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00		67,30	68,97	70,20	67,58	68,58
Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
13/09/00		32,70	31,03	29,80	32,42	31,42

ETE Mangueira - lodo da célula 5

pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		6,93	6,89	6,81	6,75	7,07
18/12/00		6,81	6,88	6,84	6,82	7,2

ETE Mangueira - Iodo da célula 5

Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		1477	1266	1553	2300	2850
18/12/00		1407	1765	1663	1841	3020
Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		28,3	28,2	28,3	28,5	28,1
18/12/00		31,2	30,3	29,7	29,9	33,6
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	0,53	38,94	55,35	45,91	84,13	111,49
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	10,17	65,13	63,31	59,44	63,77	58,86
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	89,83	34,87	36,69	40,56	36,23	41,14
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		37,22	53,67	41,61	76,27	93,91
Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		64,59	64,72	64,91	69,80	64,84
Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		35,41	35,28	35,09	30,20	35,16

ETE Mangueira - Iodo da célula 6

pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		6,84	7,01	6,73	6,94	6,88
18/12/00		6,94	6,84	6,93	6,96	7,1
Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		1285	1170	1898	3230	3050
18/12/00		1393	1533	1454	1796	2770
Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		27,7	27,7	27,7	27,9	27,9
18/12/00		28,1	27,9	27,9	28,2	28,2
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	0,55	53,96	91,82	66,29	116,55	109,35
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	7,40	65,85	69,03	69,81	70,86	69,43
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	92,60	34,15	30,97	30,19	29,14	30,57
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		52,46	90,12	64,18	112,27	108,35
Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		71,44	73,60	67,71	72,18	68,87
Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		28,56	26,40	32,29	27,82	31,13

ETE Mangueira - Iodo da célula 7

pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		7,05	6,7	6,89	7,02	6,82
18/12/00		6,92	6,91	6,93	6,88	7,31
Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		1254	1725	1668	3410	2450
18/12/00		1652	1591	1579	1701	2500
Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		28,5	28,5	28,4	28,4	29
18/12/00		32,8	32,7	31,3	31,5	32,6
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	0,60	48,66		69,62	134,20	
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	14,09	64,31		67,47	64,29	
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00	85,91	35,69		32,53	35,71	
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		42,15		67,80	123,82	
Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00		66,76		67,61	69,13	
Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		33,24		32,39	30,87	

ETE Mangueira - Iodo da célula 8

pH (potenciométrico)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		6,87	6,91	6,68	6,86	7,04
18/12/00		6,97	6,96	6,89	6,82	7,28
Condutividade Elétrica (σS/cm)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		1492	1311	1687	1235	3050
18/12/00		1641	1564	1792	1703	3180
Temperatura (°C)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
14/12/00		27,8	28,1	27,4	27,7	27,6
18/12/00		28,7	28,7	27,8	27,9	28,4
Sólidos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	0,59	38,97	68,52	41,86		
Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	5,24	62,41	67,17	65,23		
Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00	94,76	37,59	32,83	34,77		
Sólidos Suspensos Totais (g/L)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
19/09/00		35,27	66,71	40,48		
Sólidos Suspensos Fixos (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00		65,80	67,27	66,05		

ETE Mangueira - lodo da célula 8

Sólidos Suspensos Voláteis (% de Sólidos Suspensos Totais)						
Data:	5,0m de altura	2,5m de altura	2,0m de altura	1,5m de altura	1,0m de altura	0,5m de altura
12/09/00		34,20	32,73	33,95		

Tabela 11.6- Resultados das características físico-químicas dos lodos em leito de secagem.

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	pH (em H ₂ O)	Condutividade Elétrica /σS/cm(em H ₂ O)	Umidade a 65 °C (% de Massa úmida)	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)
Lodo do Leito de Secagem 1	07/08/2000			94,70	94,78
	14/08/2000			70,98	71,61
	22/08/2000			64,16	67,95
	01/09/2000	5,38	1990	64,45	65,04
Lodo do Leito de Secagem 2	07/08/2000			93,05	93,22
	08/08/2000			89,07	89,29
	09/08/2000			76,45	78,84
	10/09/2000			77,75	78,08
	11/08/2000			75,72	76,00
	14/08/2000			71,32	71,75
	15/08/2000			70,34	70,95
	16/08/2000			68,89	69,52
	17/08/2000			70,37	70,99
	18/08/2000			70,02	70,78
	21/09/2000			66,76	67,70
	22/08/2000			65,63	68,51
	23/08/2000			65,57	67,16
	24/08/2000			65,71	66,19
	25/08/2000			65,79	66,36
	28/09/2000			64,70	64,84
	29/08/2000			63,68	64,11
30/08/2000			60,65	61,61	
31/08/2000			59,43	61,36	
01/09/2000	5,73	2320	60,88	61,39	
Lodo do Leito de Secagem 3	07/08/2000			93,01	93,28
	14/08/2000			73,04	73,42
	22/08/2000			65,24	66,34
	01/09/2000	6,24	1496	62,19	62,80
Lodo do Leito de Secagem 4	07/08/2000			93,65	93,72
	14/08/2000			68,12	68,62
	22/08/2000			64,61	65,90
	01/09/2000	5,95	1594	54,43	54,94
Lodo do Leito de Secagem 5	07/08/2000			99,84	99,83
	14/08/2000			59,60	60,17
	22/08/2000			44,14	54,76
	01/09/2000	6,91	1427	38,59	39,15
Lodo do Leito de Secagem 6	07/08/2000			93,99	94,12
	14/08/2000			72,50	73,07
	22/08/2000			64,13	66,58
	01/09/2000	5,89	1306	59,29	59,63
Lodo do Leito de Secagem 7	07/08/2000			94,19	94,27
	14/08/2000			72,24	72,99
	22/08/2000			65,00	66,69
	01/09/2000	6,17	1297	56,74	57,59

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	pH (em H ₂ O)	Condutividade Elétrica /σS/cm(em H ₂ O)	Umidade a 65 °C (% de Massa úmida)	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)
Lodo do Leito de Secagem 8	07/08/2000			94,73	94,78
	14/08/2000			70,98	71,45
	22/08/2000			62,89	65,18
	01/09/2000	5,75	1943	58,05	59,14
	03/10/2000			89,68	89,84
	04/10/2000			87,10	87,40
	05/10/2000			79,97	80,26
	06/10/2000			75,43	75,79
	09/10/2000			66,63	67,08
	11/10/2000			58,20	58,87
16/10/2000			58,03	58,51	
17/10/2000			58,81	59,42	
26/10/2000			39,15	40,50	
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro de Peixinhos					
Amostra	Data	pH (em H ₂ O)	Condutividade Elétrica /σS/cm(em H ₂ O)	Umidade a 65 °C (% de Massa úmida)	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)
Lodo do Leito de Secagem	15/06/2000	6,59	227	14,78	19,01
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sulfato (g de S/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem 1	07/08/2000	5,22	62,79	37,21	
	14/08/2000	28,39	65,46	34,54	
	22/08/2000	32,05	67,17	32,83	
	01/09/2000	34,96	66,62	33,38	29,74
Lodo do Leito de Secagem 2	07/08/2000	6,78	63,70	36,30	
	08/08/2000	10,71	60,40	39,60	
	09/08/2000	21,16	62,43	37,57	
	10/09/2000	21,92	63,13	36,87	
	11/08/2000	24,00	62,69	37,31	
	14/08/2000	28,25	67,90	32,10	
	15/08/2000	29,05	63,81	36,19	
	16/08/2000	30,48	63,23	36,77	
	17/08/2000	29,01	66,25	33,75	
	18/08/2000	29,22	65,24	34,76	
	21/09/2000	32,30	67,63	32,37	
	22/08/2000	31,49	65,96	34,04	
	23/08/2000	32,84	67,31	32,69	
	24/08/2000	33,81	64,92	35,08	
	25/08/2000	33,64	65,22	34,78	
	28/09/2000	35,16	64,78	35,22	
29/08/2000	35,89	65,66	34,34		
30/08/2000	38,39	68,26	31,74		
31/08/2000	38,64	67,47	32,53		
01/09/2000	38,61	66,47	33,53	46,07	
Lodo do Leito de Secagem 3	07/08/2000	6,72	65,10	34,90	
	14/08/2000	26,58	66,28	33,72	
	22/08/2000	33,66	69,63	30,37	
	01/09/2000	37,20	69,47	30,53	39,98
Lodo do Leito de Secagem 4	07/08/2000	6,28	66,68	33,32	
	14/08/2000	31,38	70,93	29,07	
	22/08/2000	34,10	69,22	30,78	
	01/09/2000	45,06	67,79	32,21	65,88
Lodo do Leito de Secagem 5	07/08/2000	0,17	58,17	41,83	
	14/08/2000	39,83	69,24	30,76	
	22/08/2000	45,24	72,77	27,23	
	01/09/2000	60,85	68,91	31,09	53,57

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sulfato (g de S/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem 6	07/08/2000	5,88	68,94	31,06	
	14/08/2000	26,93	69,62	30,38	
	22/08/2000	33,42	71,08	28,92	
	01/09/2000	40,37	70,07	29,93	52,99
Lodo do Leito de Secagem 7	07/08/2000	5,73	66,98	33,02	
	14/08/2000	27,01	69,92	30,08	
	22/08/2000	33,31	69,73	30,27	
	01/09/2000	42,41	75,45	24,55	49,49
Lodo do Leito de Secagem 8	07/08/2000	5,22	66,70	33,30	
	14/08/2000	28,55	68,52	31,48	
	22/08/2000	34,82	72,39	27,61	
	01/09/2000	40,86	75,66	24,34	21,04
	03/10/2000	10,16	67,23	32,77	
	04/10/2000	12,60	65,41	34,59	
	05/10/2000	19,74	64,80	35,20	
	06/10/2000	24,21	63,13	36,87	
	09/10/2000	32,92	66,49	33,51	
	11/10/2000	41,13	67,10	32,90	
16/10/2000	41,49	69,94	30,06		
17/10/2000	40,58	68,52	31,48		
26/10/2000	59,50	70,38	29,62	7,69	

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro de Peixinhos					
Amostra	Data	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sulfato (g de S/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem	15/06/2000	80,99	57,37	42,63	7,25

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Fósforo Total (g de P/kg de MS)	Nitrogênio Total (g de N-NTK/kg de MS)	Potássio (g de K/kg de MS)	Sódio (g de Na/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem 1	01/09/2000	0,95	16,56	0,7	0,67
Lodo do Leito de Secagem 2	01/09/2000	1,64	19,41	1,92	0,73
Lodo do Leito de Secagem 3	01/09/2000	1,34	18,93	1,86	0,72
Lodo do Leito de Secagem 4	01/09/2000	2,24	17,21	1,86	0,89
Lodo do Leito de Secagem 5	01/09/2000	2,27	15,65	2,14	1,10
Lodo do Leito de Secagem 6	01/09/2000	2,36	17,75	1,67	1,64
Lodo do Leito de Secagem 7	01/09/2000	0,88	14,59	1,96	1,46
Lodo do Leito de Secagem 8	01/09/2000	1,99	18,46	1,48	1,05
	26/10/2000	0,44	17,64	2,00	0,71

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro de Peixinhos					
Amostra	Data	Fósforo Total (g de P/kg de MS)	Nitrogênio Total (g de N-NTK/kg de MS)	Potássio (g de K/kg de MS)	Sódio (g de Na/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem	15/06/2000	0,79	20,67	0,56	0,57

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem 1	01/09/2000	29,96	22,25	1,40	0,06
Lodo do Leito de Secagem 2	01/09/2000	32,10	22,34	1,82	0,08
Lodo do Leito de Secagem 3	01/09/2000	30,55	24,60	1,66	0,08

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem 4	01/09/2000	29,87	27,46	2,08	0,09
Lodo do Leito de Secagem 5	01/09/2000	29,35	33,03	1,90	0,07
Lodo do Leito de Secagem 6	01/09/2000	30,38	30,37	2,16	0,10
Lodo do Leito de Secagem 7	01/09/2000	24,48	20,23	4,88	0,11
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Sulfato (g de S/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem 8	01/09/2000	17,87	16,25	2,87	0,09
	26/10/2000	17,53	12,48	1,45	0,06
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro de Peixinhos					
Amostra	Data	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)	Magnésio (g de Mg/kg de MS)	Silício (g de Si/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem	15/06/2000	26,75	12,36	1,33	0,10
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem 1	01/09/2000	38,07	0,14	42,62	51,72
Lodo do Leito de Secagem 2	01/09/2000	47,83	0,17	N.D.	67,36
Lodo do Leito de Secagem 3	01/09/2000	49,74	0,19	N.D.	67,37
Lodo do Leito de Secagem 4	01/09/2000	51,37	0,20	60,65	70,29
Lodo do Leito de Secagem 5	01/09/2000	52,87	0,20	51,59	64,59
Lodo do Leito de Secagem 6	01/09/2000	60,50	0,21	58,53	68,78
Lodo do Leito de Secagem 7	01/09/2000	57,79	0,20	N.D.	55,34
Lodo do Leito de Secagem 8	01/09/2000	32,07	0,13	N.D.	38,88
	26/10/2000	30,64	0,14	4,24	49,87
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro de Peixinhos					
Amostra	Data	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Manganês (g de Mn/kg de MS)	Níquel (mg de Ni/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/kg de MS)
Lodo do Leito de Secagem	15/06/2000	40,87	0,11	177,75	217,66
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	
Lodo do Leito de Secagem 1	01/09/2000	411,67	35,46	N.D.	
Lodo do Leito de Secagem 2	01/09/2000	508,43	45,97	N.D.	
Lodo do Leito de Secagem 3	01/09/2000	430,51	43,15	N.D.	
Lodo do Leito de Secagem 4	01/09/2000	446,94	49,40	N.D.	
Lodo do Leito de Secagem 5	01/09/2000	427,49	42,28	N.D.	
Lodo do Leito de Secagem 6	01/09/2000	439,25	48,57	N.D.	
Lodo do Leito de Secagem 7	01/09/2000	306,67	44,39	N.D.	

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	
Lodo do Leito de Secagem 8	01/09/2000	222,75	37,02	N.D.	
	26/10/2000	269,52	34,68	4,54	
Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro de Peixinhos					
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)	
Lodo do Leito de Secagem	15/06/2000	962,09	68,28	93,34	

N.D. – não detectado pelo método analítico (0,05 mg/ L de cada metal).

Tabela 11.7 – Determinação da massa de lodo (73,1 g STV/L) da ETE Mangueira (Recife – PE) e da solução de nutrientes para Teste de Atividade Metanogênica Específica do lodo .

Frasco Plástico + funil	Concentração			Massa (g)		
	lodo (g STV/L)	Final		Lodo da Mangueira (peneirado - úmido)	Solução	Mistura Total
		lodo (g STV/L)	Substrato (g C ₂ /L)			
1	73,1	0,5	2	3,4	496,6	500
2	73,1	0,5	2	3,4	496,6	500
3	73,1	1	2	6,8	493,2	500
4	73,1	1	2	6,8	493,2	500
5	73,1	2,0	2	13,7	486,3	500
6	73,1	2,0	2	13,7	486,3	500

Tabela 11.8 – Produção de metano (mL) do Lodo da ETE Mangueira no período de 05 a 21/09/00.

Tempo acumulado (dias)	lodo (peneirado) com STV = 73,1 g/L					
	1,0 g/L de Acetato de sódio (C ₂)					
	Concentração do lodo					
	0,5 g/L	0,5 g/L	1 g/L	1 g/L	2 g/L	2 g/L
	n ^o do frasco					
	1	2	3	4	5	6
	ml CH ₄ produzidos					
0,00	0	0	0	0	0	0
0,62	20,1	12,7	7,9	9,8	1,4	15
0,74	22,3	13,1	9,5	10,2	7,3	9,1
0,85	22,6	14,2	11,9	13,3	12,3	13,5
1,13	22,7	15,9	17,5	18,4	19,9	23,5
1,65	24,2	20,8	31	31,3	34	42,4
1,70	24,9	21,2	32,1	32,5	35,3	43,7
2,64	32,8	33,6	59,6	58,3	57,2	71,6
2,78	35,2	35,7	63,5	62,3	60,3	75,2
2,92	38,1	38,4	68,9	67	66	79,5
3,02	39,6	39,6	71,3	69,5	69,3	81,8
3,63	48,4	47,7	87,3	83,7	85,2	94,3
3,78	50,8	50,9	91,8	87,8	89,1	98,1
3,90	53,3	53,6	95,8	90,8	92,4	101,3
4,69	65,7	66,3	119,4	107,1	111,9	115
5,62	84	83,1	147,7	123,9	121,3	130,3
5,79	88	86,3	152,8	127,5	124,7	132,5
5,92	90,6	89,2	155	132,9	130,4	139
6,62	104,6	101,9	168,4	138,3	141,7	154,8
6,77	108	104,8	170,2	140	143,5	156,7
6,86	110,4	107,2	172,6	141,5	145,3	159,2
7,80	131,2	123,4	183,8	161,3	149	167,4
8,09	137,4	129,4	187,7	167,5	149,1	169,9
8,63	147,6	139,2	194,7	176,5	148,6	176,3
8,89	153,9	145,2	199,2	182,2	149,4	181,7
9,02	156,4	147,6	201,3	184,6	149,5	184,4
9,62	167,7	158,3	210,3	195,1	152,5	196,6
9,83	172,7	162,9	214,3	199,2	153	201,6
9,98	176	165,8	216,3	201,9	158,4	204,3
10,62	185	178	223	210,6	157,9	206,6
10,77	187,5	181,3	224,7	213	157,7	208,3
10,91	190,6	185	227	215,7	158,8	210,5
12,62	204,4	207,2	233,4	220,3	158,1	210,8
12,74	205,9	208,3	233,3	220,7	158,3	210,9

Tempo acumulado (dias)	lodo (peneirado) com STV = 73,1 g/L					
	1,0 g/L de Acetato de sódio (C ₂)					
	Concentração do lodo					
	0,5 g/L	0,5 g/L	1 g/L	1 g/L	2 g/L	2 g/L
	n ^o do frasco					
	1	2	3	4	5	6
	ml CH ₄ produzidos					
12,77	0	0	0	0	0	0
12,89	2,7	0,7	0,8	1,8	0,5	4,2
13,71	2,9	0,4	3,9	3,3	0,2	13,2
13,90	4,4	0,7	6,4	7,5	1	19,7
13,96	4,5	0,6	6,8	8,3	1	21,1
14,07	5,4	0,6	7,2	8,9	1	23,4
14,59	7,8	-0,1	12,1	14,9	0,8	34,9
14,88	12,5	2,7	18,1	21,2	1,9	45,4
15,09	15,2	4,6	20,9	22,7	1,6	50,2
15,64	18,8	8	26,2	27,8	10,9	64,3
15,80	20,3	9,7	28,6	29,6	15,1	69

Tabela 11.9 - Determinação da massa de lodo (97,6 g STV/L) da ETE Mangueira (Recife-PE) e da solução de nutrientes para Teste de Atividade Metanogênica Específica do lodo .

Frasco Plástico + funil	Concentração			Massa (g)		
	Lodo da Mangueira (centrifugado) (g STV/L)	Final		Lodo da Mangueira (centrifugado - úmido)	Solução	Mistura Total
		lodo (g STV/L)	Substrato (g C ₂ /L)			
19	97,6	0,57	1	2,9	497,1	500
20	97,6	0,57	1	2,9	497,1	500
21	97,6	0,57	2	2,9	497,1	500
22	97,6	0,57	2	2,9	497,1	500
23	97,6	0,92	1	4,7	496,3	500
24	97,6	0,92	1	4,7	496,3	500
25	97,6	0,92	2	4,7	496,3	500
26	97,6	0,92	2	4,7	496,3	500
27	97,6	1,85	2	9,5	496,8	500
28	97,6	1,85	2	9,5	496,8	500

Tabela 11.9 – Produção de metano (mL) do Lodo da ETE Mangureira no período de 21/09/00 a 09/10/00.

Tempo acumulado (dias)	Lodo (centrifugado) com STV = 97,6 g/L									
	1,0 g/L de Acetato de sódio (C ₂)					2,0 g/L de Acetato de sódio (C ₂)				
	0,57 g/L	0,57 g/L	0,57 g/L	0,57 g/L	0,57 g/L	0,92 g/L	0,92 g/L	0,92 g/L	0,92 g/L	0,92 g/L
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	nVdo frasco									
	ml CH₄ produzidos									
0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,59	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,79	1	1,1	0	0	1,3	2,7	0,3	6	1,3	3,9
1,64	1,2	6	0,5	2,3	7,8	10,4	7,3	17,2	45,8	35,8
1,91	2,2	10,5	3,9	6,1	12,4	16,8	13,8	26,8	165,7	70,8
2,64	6,6	18,6	4,1	14,9	20,9	29,4	29,1	41,9	167,8	104,4
3,62	9,9	32,5	4,8	33,6	35,8	47,5	58,5	72,5	188,5	144,6
3,80	10,3	36	5,1	38,3	48,8	51,7	65,6	80,1	194,8	152,3
3,96	10,3	38	4,9	41,3	41,8	54,1	70,4	85,1	198,4	155,8
4,64	10	46,1	4,6	56,3	52	63,8	92,2	105,5	212,6	167,5
4,83	10,3	50,3	6	62,7	57	68,8	99,6	114	220,7	172
4,93	11,1	52	39,4	64,7	58,3	70,1	102,3	116,8	222,8	172,2
5,66	18,4	59,1	42,9	81,2	68,5	78,2	122,8	135,6	234,4	172,2
5,83	21,6	62,5	44	87,1	73,4	82	130	143,3	238,6	173,7
6,63	29,8	69,5	43,5	105,2	82,5	87,9	150,8	160,9	247,7	173,6
6,84	34,1	73,5	141,5	111,5	86,6	91,7	158,1	168,4	253,9	175,4
7,81	42,7	80	609,4	133,2	94,6	96	176,1	185	261,6	178,6
7,99	45,2	81,8	3,1	137,9	96,4	97,6	179,6	193,5	263,4	179
8,63	49,4	84	2	149,7	100,1	99,1	187,9	201	267	179,4

		Lodo (centrifugado) com STV = 97,6 g/L											
		1,0 g/L de Acetato de sódio (C ₂)						2,0 g/L de Acetato de sódio (C ₂)					
		Concentração do lodo											
		nVdo frasco											
		ml CH ₄ produzidos											
Tempo acumulado (dias)		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
		0,57 g/L	0,57 g/L	0,57 g/L	0,57 g/L	0,57 g/L	0,92 g/L	0,92 g/L	0,92 g/L	0,92 g/L	1,85 g/L	1,85 g/L	1,85 g/L
8,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,83	7,1	7,7	7,7	-0,1	10,9	10,3	7,3	12	13,3	10,3	8,1	10,3	8,1
10,60	44,6	8,8	8,8	-1	11	48,5	51,3	72,1	38,1	71,9	44,2	71,9	44,2
10,85	55,2	18,4	18,4	-1	11,8	56,8	60,4	83,5	47,3	84,7	58,5	84,7	58,5
11,61	70,4	34,2	34,2	3	11	72,7	74	104,3	67	104,9	75,3	104,9	75,3
11,84	77,1	41	41	8,6	17,6	78,6	80,4	113,1	76,4	114,2	79,7	114,2	79,7
12,60	91,7	53,4	53,4	11,9	33	88,9	91,1	129,9	92,1	129,1	79,7	129,1	79,7
12,95	99,1	59,9	59,9	12,2	41,9	96,3	97,6	138,4	101,6	137,6	87,7	137,6	87,7
13,63	108,5	66,7	66,7	11,4	54,5	103,9	103,5	149,5	111,6	147,1	97,8	147,1	97,8
13,90	113,3	71	71	11,7	61	109,1	107	156,2	118,7	153,1	104,4	153,1	104,4
14,66	117,9	75,6	75,6	10,7	72,3	113,9	110,1	164,2	126	159,5	113,2	159,5	113,2
14,86	121,2	78,5	78,5	15,4	76,6	118,5	110,6	168,5	130,6	164,6	118,7	164,6	118,7
15,62	124,2	79,6	79,6	15,6	84,3	120,4	113,5	172,3	133	167,4	121,9	167,4	121,9
15,85	126,9	82,2	82,2	17,4	89,1	123,7	114,4	176,5	138,1	172,1	128,3	172,1	128,3
17,75	131,9	83,4	83,4	18	105,5	128,1	120,6	184,3	144,7	177	136,7	177	136,7
17,86	133,6	83,5	83,5	18	107	128,2	121,3	184,5	146,9	178,2	138,6	178,2	138,6

Tabela 11.11 - Resultados das características físico-químicas do sobrenadante das células do reator UASB e da areia do tratamento preliminar da ETE.

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário do bairro da Mangueira					
Amostra	Data	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)
Sobrenadante da célula 1	12/12/2000	87,15	12,85	71,66	28,34
Sobrenadante da célula 2	12/12/2000	87,51	12,49	50,83	49,17
Sobrenadante da célula 3	12/12/2000	78,29	21,71	83,00	17,00
Amostra	Data	Umidade a 65 °C (% de Massa úmida)	Umidade a 105 °C (% de Massa úmida)	Sólidos Totais (% de Massa úmida)	Sólidos Totais Fixos (% de Sólidos Totais)
Areia	03/10/2000	36,23	36,5	63,5	11,0
Amostra	Data	Sólidos Totais Voláteis (% de Sólidos Totais)	Alumínio (g de Al/kg de MS)	Ferro (g de Fe/kg de MS)	Cálcio (g de Ca/kg de MS)
Areia	03/10/2000	89,0	19,52	12,21	22,64
Amostra	Data	Magnésio (mg de Mg/kg de MS)	Manganês (mg de Mn/ kg de MS)	Sódio (mg de Na/kg de MS)	Silício (mg de Si/kg de MS)
Areia	03/10/2000	998,6	126,7	32,26	96,8
Amostra	Data	Cromo (mg de Cr/kg de MS)	Cobre (mg de Cu/ kg de MS)	Níquel (mg de Ni/ kg de MS)	Chumbo (mg de Pb/kg de MS)
Areia	03/10/2000	25,21	14,6	N.D.	N.D.
Amostra	Data	Zinco (mg de Zn/kg de MS)			
Areia	03/10/2000	120,8			

Obs: O método de digestão das amostras com ácido nítrico-perclórico não foi eficiente para a quantificação da areia.

12.0. TRABALHOS GERADOS PELA DISSERTAÇÃO

a) Título do Artigo: Caracterização de lodos de Estações de Tratamento de Água e de Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana do Recife.

Autores: Bastos da Silva, A. M.R.; Kato, M. T. e Lima, E. S.

Evento: XL Congresso Brasileiro de Química.

Entidade Organizadora: Associação Brasileira de Química (ABQ).

Local: Campus Universitário - Recife/PE.

Período: 23 à 26 de outubro de 2000.

b) Título do Artigo: Avaliação das Características físico-químicas de biossólidos provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto doméstico Aeróbio e Anaeróbio em Pernambuco.

Autores: Ana Maria Ribeiro Bastos da Silva; Mário Takayuki Kato; Lourdinha Florencio e Edmilson Santos de Lima.

Evento: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Entidade Organizadora: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).

Local: Centro de Convenções – João Pessoa/PB.

Mês/Ano: 16 à 21 de setembro de 2001.

c) Título do Artigo: Avaliação e Comparação entre a Atividade Metanogênica Específica de lodo de Esgotos Doméstico e Industrial.

Autores: Maria Aparecida Guilherme da Rocha; Ana Maria Ribeiro Bastos da Silva; Mario Takayuki Kato e Lourdinha Florencio.

Evento: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Entidade Organizadora: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).

Local: Centro de Convenções – João Pessoa/PB.

Mês/Ano: 16 à 21 de setembro de 2001.

d) Título do Artigo: Aplicação da Análise de Componentes Principais na Avaliação das Características físico-químicas de lodos de ETAs e ETEs da RMR-PE.

Autores: Silva, A. M. R. B.; Kato, M. T.; Florencio, L. e Lima, E. S.

Evento: Congresso Brasileiro de Engenharia Química

Entidade Organizadora: Associação Brasileira de Engenharia Química

Local: Natal - RN

Mês/Ano: Agosto/2002.

13.0. CURRICULUM VITAE

A autora desta dissertação nasceu em Recife, Pernambuco, Brasil. Recebeu a educação básica em Recife. Obteve o grau de Licenciatura em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco e Química Industrial pela Universidade Católica de Pernambuco, Recife. Durante o período de 1989 a 1996, trabalhou como laboratorista na Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos, e desde 1996, é técnica em laboratório na Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Em março de 1999, iniciou seus estudos no mestrado em Engenharia Civil, área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, na Universidade Federal de Pernambuco.